

Veszprém, Szennyvíztisztító Telep (fotó: Sztraka Ferenc)



**„Víz: élet és lehetőség”**



# VÍZMŰ PANORÁMA

A Magyar  
Víziközmű  
Szövetség  
szakmai lapja

2024  

---

03

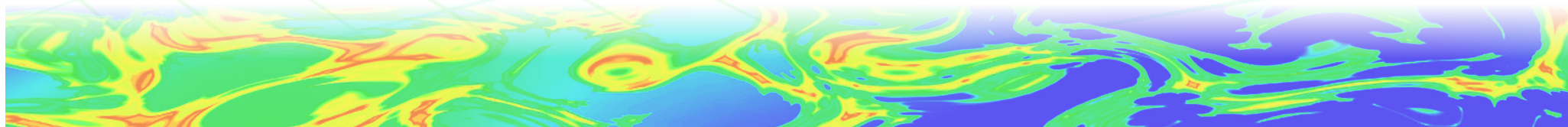
XXXII. évfolyam

## 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  
Kromatográfias 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  
Égetéssel 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:** N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, „zero air” gázgenerátorok

## KÉPALKOTÁS

- **Olympus élettudományi mikroszkópok és képkalkotás:** 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 kariotípzálás  
FISH, CISH
- **Hitachi:** Pasztázó és transzmissziós elektronmikroszkópok  
Elektronmikroszkópos mintaelőkészítők
- **Oxford Instruments/ EDX detektorok**  
**Asylum Research:** Atomerő mikroszkópok és kiegészítők
- **Safematic:** Elektronmikroszkópos vákuumgőzölők
- **Micro to Nano:** Elektronmikroszkópos kiegészítők, fogyóanyagok



# Tartalomjegyzék

- 4** **MaVíz hírek**  
Országos Víziközmű Konferencia, Eger
- 
- 11** **MaVíz hírek**  
Kitüntetések a Víziközművek Napja alkalmából
- 
- 12** **Aktuális**  
A mozgóágyas biofilmes tisztítás és a MICROBI: kihívások a biofilm vastagság számításban
- 
- 21** **Szolgáltatók szemével**  
Anaerob foszfor mineralizáció vizsgálata a kommunális szennyvízkezelés során
- 
- 28** **Szolgáltatók szemével**  
Megfelelés az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendeletben meghatározott vízminőségi követelményeknek a TRV Zrt. üzemeltetési területén
- 
- 37** **Szolgáltatók szemével**  
Rendszerfejlesztési stratégia kialakítása a DMRV Zrt. vízellátó rendszerén hálózathidraulikai modell alkalmazásával
- 
- 41** **Vízipar szemével**  
PE csőhálózatok létesítése
- 
- 45** **Aktuális**  
A kiberbiztonsági szabályok Európai Unióban egységesen magas szintű szabályairól, különös tekintettel a NIS2 irányelvre
- 
- 47** **Szakmánk megalapozói**  
DARCY, Henry Philibert Gaspard

# „Víz: élet és lehetőség”

## Tisztelt Olvasó!

„Víz: élet és lehetőség” – ha nem tudnánk, hogy ez volt a mottója az idei Víziközmű Konferenciának, akkor sok mindenre gondolhatnánk, amikor olvasunk. Gondolhatunk a vízre és a víz körforgására, mint az élet és életterünk alapvető feltételére, szabadidős tevékenységünk egyik alapvető eszközére, a négy őselem egyikére, amely éppen a folyóirat megjelenése idején mutatja meg foga fehérjét, de eszünkbe juthat a természet egyik legfontosabb kincse is, melyben gyönyörködve a lelki békénk is visszatérhet, vagy a víz, mint a belső megtisztulás jelképe.

Most azonban maradjunk a Víziközmű Konferenciánál, de a sokszínűséget ebben az összefüggésben sem kell elkerülnünk. Sőt, ahogyan utólag is végignézzük a programot, az tűnhet szembe, hogy mennyi szakterület, mennyi szempont jut szóhoz ebben a két napban. Ezt a sokszínűséget mutatja be az első része a folyóiratnak, ahol az egyes szekciókból kaphatnak rövid összefoglalót. Aki nem tudott ott lenni vagy nem tudott minden szekciót végig hallgatni, itt könnyen kiszűrhatja azt, ami érdekelheti. Ha ezt megtalálta, a szerkesztőségen keresztül (elérhetőség az impresszumban) a teljes előadáshoz is hozzájuthat. De ezt a sokszínűséget mutatja a díjazottak bemutatása is, akiknek ezúton is szívből gratulálunk a sikeres és példaadó munkájukhoz.

A folyóirat további cikkei szintén a sokszínűséget mutatják. Van közöttük szennyvíztechnológiát tárgyaló dolgozat, kettő is, vízkezeléssel, vízminőséggel és hálózathidraulikával foglalkozó írás, vízipari kezdeményezésről szóló beszámoló és kiberbiztonsággal kapcsolatos cikk.



**MÁRIALIGETI BENCE**  
főszerkesztő

Szennyvíztechnológiában a mozgóágyas biofilmes tisztítás kerül a középpontba egy speciális mikrohordozót alkalmazó technológia bemutatásával. A következő írás az anaerob foszfor mineralizációt tárgyalja. Leírja kialakulása körülményeit és a Veszprémi Szennyvíztisztító Telep példáján bemutatja a struvit képződés számítását és azt eltávolítási lehetőségeket értékeli.

Vízminőség témában a törésponti klórozást alkalmazó telepek kockázatait tárgyalja abból a szempontból, hogy a szerves és szervesetlen mikroszennyezők képződésének megakadályozására milyen megoldási terveket készítettek a TRV Zrt.-nél.

Hálózathidraulika témakörben a DMRV Zrt. Duna jobbparti Regionális Vízellátó Rendszerének átfogó rendszerfejlesztési stratégiájához szükséges modell felállításáról és kalibrálásáról, majd a használatával megfogalmazható fejlesztési igényekről olvashatunk,

A vízipari tagozat néhány szereplője az egi konferencián egy újszerű megoldással próbálkozott, amikor versenytársként közösen léptek fel és adtak elő. Ennek háttéréről céljáról és eredményeiről is olvashatnak a „Vízipar szemével” című rovatunkban.

A NIS2 irányelv megjelenése sok feladatot jelenthet az ágazatunk szereplői számára. Elsőre ezek túldimenzionálnak tűnhetnek, ezért röviden bepillantást kaphatnak az irányelv és az annak kapcsán megjelent magyar jogszabályok háttéréről.

A Víz: élet és lehetőség – legyen ez mindannyiunk számára nemcsak megélhetésünk eszköze, hanem életszemléletünk alapja is egyben!

Jó olvasást!

## MAVÍZ HÍREK

# „Víz: élet és lehetőség” Országos Víziközmű Konferencia, Eger

A 2024. évi Országos Víziközmű Konferencia a szokásokhoz híven plenáris és szekció-előadásokon keresztül biztosított lehetőséget a szakmát érintő kérdések megvitatására, elmélyítésére.

## SZEKCIÓÜLÉSEK

A következő oldalakon a konferencián elhangzott előadásokból, pontosabban az egyes szekciókról olvashatnak összefoglalót a szekciómoderátorok tollából. Ha valamelyik téma felkeltette az érdeklődésüket, akkor a szekciómoderátorokon vagy a szerkesztőségen keresztül kérhetnek további információt mind a szekció, mint a plenáris előadásokról.



### „IVÓVÍZ CSŐHÁLÓZATI MUNKÁK ÉS KIHÍVÁSAIK” SZEKCIÓ

**Fabrik Tamás**

*műszaki igazgató*

TRV Zrt.

[Fabrik.Tamas@trvzrt.hu](mailto:Fabrik.Tamas@trvzrt.hu)

A 2024 június 5-én, az első szekció első előadás sorozatában az ivóvíz csőhálózati munkák és kihívásai, csővezetékrendszerek hegesztéstechnikája témakörben 3 előadást hallhattunk.

Az első előadást **Oberding Kornél** a Euroflow Zrt. műszaki- és minőségirányítási vezetője tartotta, „Csőhálózati hibaelhárítás több szinten” címmel. Bemutatta, hogy a vízhálózati csőszakszok teljes cseréje helyett jelenleg reális alternatíva a lokális

hibaelhárítás. Ennek egyik hazai vezető szakértője, a Euroflow Zrt. olyan többszintű technológiai- és gyártmányválasztékot kínál, mely rugalmasan igazodik a különböző csőanyagokhoz, a hiba fajtáihoz, a terepi körülményekhez és nem utolsósorban a rendelkezésre álló forrásokhoz. A négyzetes kínálat legegyszerűbb tagja a „hagyományos” rozsdamentes acél palástjavítók családja. Ennél magasabb szinten, nagyobb tudással azok a palástjavítók rendelkeznek, melyek gyártása speciális öntöttvas pofákkal történik. E piramis csúcsán helyezkednek el a hidraulikus tömítésekkel rendelkező, többfunkciós kötő-javítóidomok. Az előadó minden szint esetében bemutatta az adott termékkör konstrukciós-, gyártási- és alkalmazástechnikai elveit és előnyeit, látványos gyakorlati példákkal szemléltetve. A megfelelő kötések kiválasztása jelentősen befolyásolja a gazdaságos hibaelhárítást, annak lefolyási idejét, hosszútávú működési körülményeket.

A második előadást **Vékony Bélától**, a Kiskunvíz Kft. ivóvíz ágazati főmérnökétől hallhattuk „Hálózatrekonstrukció! Mikor? Hol?” címmel. Bemutatásra került a szolgáltatási terület, a szolgáltatási területen található hálózati elemek állapota, statisztikai sajátosságai. Előadásából kiderült, hogy az ivóvízellátó hálózatok nagy mértékű rekonstrukciójára van szükség. A felújításra váró elosztó rendszer mennyisége és avultsági szintje miatt fontos, hogy mikor melyik vezeték kerül felújításra. A Kiskunvíz Kft. üzemeltetési területén lévő hálózatok egyedi adottsága miatt még nehezebb és még fontosabb dönteni a rendelkezésre álló források alapján a rekonstrukciók idejéről és helyéről. A rendelkezésre álló hibastatisztikák, vízveszteségek és költségek vizsgálatával került kidolgozásra egy szempontrendszer, mely segítséget je-

lent a választásban. A sorrendiség gyakorlati alapon építi fel a közművek rekonstrukciójának irányát, a működés alapú csere fontosságát. Az előadás érintette még a műszaki elvárásokat, a tervezett hálózatrekonstrukciókkal szemben. A terület talajviszonyai, a körülmények változásai, a csővezetékek eredeti műszaki állapota alapján jól behatárolható a legkritikusabbnak tekinthető szolgáltatási sajátosságok.

A harmadik előadást **Galambos Péter**, a Hawle Kft. ügyvezető igazgatója adta elő „Előkészítés és (üzem)fenntartás összefüggései – anyag- és technológiaválasztás műszaki és gazdasági hatásai” címmel, ahol az előkészítés és (üzem)fenntartás összefüggései - anyag és technológiaválasztás műszaki és gazdasági hatásaira mutatott rá. Az előadás a víziközmű üzemeltetőknek címezve bemutatta a fenntartás fogalmát a vállalati eredményesség szempontjából vizsgálva.

Példákon keresztül számos olyan hatást mutatott be, amely a ráfordítás és/vagy beruházáselőkészítés (tervezés, anyag- és technológia választás, beszerzés) és üzemfenntartás műszaki, gazdasági és erőforrásmanagement összefüggéseit és egymásrautaltságát láttatja. Felhívta a figyelmet az életciklus költségen alapuló gondolkodásra és gazdálkodásra, az üzemeltetést jellemző fajlagos mutatók fontosságára, a változtatásból eredő költségmegtakarításra vagy éppen a változtatásból eredő többletköltségekre. Az előre tervezés, a prognosztizáció, a munkafolyamatok összehangolása szintén lefordítható gazdaságossági mutatókra. A munkafázisok, szerelési lépések, a ráfordítások számosságának optimalizálása a jövő irányának gondolkodását tudja erősíteni.



## „SZENNYVÍZTISZÍTÓ TELEPI TAPASZTALATOK” SZEKCIÓ

**Nagy Ferenc**

technológus főmunkatárs

ALFÖLDVÍZ Zrt.

[Nagy.Ferenc@alfoldviz.hu](mailto:Nagy.Ferenc@alfoldviz.hu)

Szennyvíztisztító telepi tapasztalatok, energiamegtakarítás szennyvíztisztítási vonalon címmel indult a II. szekció a konferencia első napján, közvetlenül a plenáris előadások után. Az első előadást **Szombati Mirtill Edit** szennyvíztisztító telepvezető (Kiskunvíz Kft.) tartotta „*Csengődi szennyvíztisztító telep bemutatása és üzemeltetési tapasztalatai*” címmel. Előadásában megjelent a víziközmű-üzemeltetők állandó problémájának az egyik megoldási lehetősége, miszerint a befolyó víz minőségét nem, vagy csak nehezen lehet befolyásolni, így a szennyvíztisztító telepet kell alkalmassá tenni a szennyvizek kezelésére, akkor is, ha a szennyvízminőség „nem ismeri” a kötelezően tartandó küszöbértékeit. Előremutató azon pályázati lehetőségek köre, amelyekkel a szennyvíztisztító telepet célirányos fejlesztés alá lehet vonni, hogy a befolyó víz minőségétől „függetlenül” alkalmas legyen a tisztító, a befogadóra kiírt határértékek tartására.

A következő előadást **Cartoletti Jonatán** műszaki asszisztens (BÁCSVÍZ Zrt.) tartotta „*A tisztított szennyvizek szikkasztásos utó-tisztítása és öntözéses hasznosítása*” címmel, melyben korunk kihívására próbál választ adni, vagy inkább a megoldás felé terelni a kollektív gondolkodást. A globális felmelegedés okozta időjárás és klímaváltozás szükségszerűvé teszi, hogy alternatív megoldásokat keressünk az öntözésre, tisztított víz felhasználásra. Két lehetséges felhasználási terület szolgálhat megoldásul a tisztított víz tekintetében, ez pedig a mezőgazdaságban öntözéses felhasználás, illetve a szikkasztásos utótisztítás során energia ültetvények vízzel való ellátása.

A szekció első részének utolsó előadását **Maloveczky Gyula** termékspecialista (Veolia Water Hungary Kft.) tartotta „*Membrántechnológia a szennyvíztisztításban*” címmel. Az előadásban a szennyvíztisztításban is használatos membrán gyártásáról és a

membrán- bioreaktoros technológia egyre nagyobb térhódításáról beszélt. A környezetvédelmi követelmények szigorodása olyan speciális helyzetet teremt, amely már rentábilissá teheti akár egy MBR technológia alkalmazását, lehet itt gondolni a jogszabályban jelenleg előírt paraméterek szigorodására és a negyedik tisztítási fokozat bevezetésére.

Összegzőképpen elmondható a mindenre igaz közhely: egyetlen dolog van, ami állandó, ez pedig a változás. Nekünk az a feladatunk, hogy ezekre a változó körülményekre a lehető legrövidebb idő alatt a legjobb választ adjuk. Sok esetben elég a meglévő technológiák fejlesztése, vagy egy régi módszer újraalkalmazása, de előfordulhat az is, hogy egészen újszerű, innovatív megoldásokat kell választanunk, hogy lépést tudjunk tartani korunk kihívásaival.



## „VÁLTOZÁSMENEDZSMENT, ALKALMAZKODÁS, STRATÉGIA ALKOTÁS” SZEKCIÓ

**Kaposvári Zsuzsanna**

HR és értékesítési főosztályvezető

FEJÉRVÍZ ZRT.

[kaposvarizs@fejerviz.hu](mailto:kaposvarizs@fejerviz.hu)

A szekcióban hallható előadások olyan témákat feszegettek, melyek mindennapi életünk részei, a változások mentén jöttek létre és kezelésük, illetve az ezekre való rálátás elkerülhetetlen napjainkban. Mindhárom előadás mondanivalóját összekapcsolták a víziközmű szektor jelen helyzetének legaktuálisabb kérdéskörei.

Az első előadás a változáskezelésről szolt **Ujj Tamás** folyamatmenedzsment osztályvezető és **Kaposvári Zsuzsanna** HR és értékesítési főosztályvezető tolmácsolásban „*A változáskezelés élményei, ahogy mi látjuk*” címmel. A hallgatók bepillantást nyertek a Fejérvíz ZRt. elmúlt időszakába, az integrációt követő folyamatmenedzsment gyakorlatába, illetve a szervezeti kultúra és stratégiaváltás kérdéskörébe. Az előadásból kiderült, hogy a változáskezelés egy összehangolt folyamat, ahol a szabályozók, kockázatértékelések és a belső rendszerek fókuszba kerülnek. Az emberi tényező és a nyomon követés az adatszolgáltatások

sikerességének a kulcsa. A változás elkerülhetetlenségét és annak egy valós példáján keresztül bemutatását érdeklődve hallgatták a résztvevők.

A második előadás a nem lakossági díjak megállapításáról szóló 25/2023. (XII. 13.) EM rendelet részleteit mutatta be a közönségnek **Kovácsné Dr. Molnár Anna**, a DPMV Zrt. megfelelési tanácsadója, jogtanácsosa tolmácsolásában „*A nem lakossági felhasználók víziközmű szolgáltatási díjának megállapításáról szóló 25/2023. (XII. 13.) EM rendelet hatása a víziközmű ágazatra*”. A prezentációban az elmúlt évek jogszabályi változásait, a külső környezeti változásokat és ezek hatását ismertette a bemutató. Az előadó jogi oldalról bemutatta a víz, és csatornadíj megállapításáról szóló rendeletet és annak gyakorlati megvalósításába is bepillantást adott. A részletszabályozás kérdései sok jelenlétűt érdekeltek, ebből is megmutatkozott az előadás aktualitása.

A harmadik előadásban **Brandstätter Gábor** a Fővárosi Vízművek Zrt. kollégája mesélt a Társaság felújítási stratégiájáról, a vízellátási és vízbiztonsági kockázatokról „*Fókuszban a fenntarthatóság – A Fővárosi Vízművek Zrt. felújítási stratégiája és vízellátási és vízbiztonsági kockázatok, továbbá a forráshiány miatt elhalasztott kereslet figyelembevételével*” című előadásában. A prezentáció során megismerhettük az infrastruktúra fenntarthatóságának fő kihívásait, a gördülő fejlesztési tervet megalapozó stratégiai programokat és a vízhálózat felújítási programot is. Láthattuk, hogy mennyire összetett folyamat a stratégiai tervezés és azt is, hogy milyen kihívásai vannak a Fővárosnak a tervezés vagy épp a kivitelezés során. Komplex és nagy figyelmet igénylő folyamatok összehangolására láttunk jó példát az előadás folyamán.

Elmondható, hogy mindhárom előadás érdekes és színes volt, a szakma fő kérdései jelentek meg a stratégiától a díjakon keresztül egészen a szervezeti kultúra kérdésig. A témák aktualitása tükröződött a jelenlétűk kérdéseiben hozzászólásaiban. A változáskezelés és a stratégiaalkotás a víziközművek több szintjén is jelen van és akár gazdasági, akár műszaki területről beszélünk, megjelenik, része a mindennapjainknak.



## „DIGITALIZÁCIÓ, MESTERSÉGES INTELLIGENCIA” SZEKCIÓ

**Ilcsik Csaba**

vezérigazgató

Waterscope Zrt.

[csaba.ilcsik@waterscope.eu](mailto:csaba.ilcsik@waterscope.eu)

A szekcióban három előadás volt, melyek egymáshoz kapcsolódtak bizonyos szinten, de egymástól eltérő témájúak voltak.

**Dr. Bunda Rita** és **dr. Horváth Péter** a Fővárosi Vízművek Zrt. kollégái „A mesterséges intelligencia beépítése a munkafolyamatokba” című előadásukban arról beszéltek, hogy egy közmű, azon belül is egy vízmű életében milyen kihívásokat jelent a digitalizáció, a mesterséges intelligencia használata. Az előadás első része egy kis történelmi bevezetéssel indult, aztán egy kisebb áttekintést kaphattunk az európai országok helyzetéről és arról, hogy hol is helyezkedik el Magyarország ebben a listában. Az új szabályozás, a NIS 2 nagyban nehezíti az ilyen jellegű technológiák elterjedését, mivel számos olyan szabvány, standard van beépítve az ellenőrző rendszerekbe, amelyek nem tudják kezelni az ilyen új és rugalmas technológiákat.

A második előadást **Ilcsik Csaba** a WaterScope Zrt. vezérigazgatója tartotta „Digitalizáció lehetőségei, azaz SCADA vs IoT” címmel, amelyben több olyan téma is megemlítésre került, amely az elmúlt időszakban kisebb-nagyobb félreértésekre adott okot. Ilyen téma volt, hogy amikor SCADA-ról beszélünk, pontosan mit is kell ezalatt érteni, mi a különbség a mérés és adatgyűjtés, illetve a vezérlés között. Hallhattunk pár olyan definíciót, amelyek segítenek megérteni a digitalizáció alapjait, olyan új kifejezésekkel ismerkedhettünk meg, mint IoT, megismerhettük, hogy mi a különbség a PLC és az IoT eszközök között és hogyan használhatjuk egyiket vagy másikat, attól függően, hogy mire is van szükség. Ezen felül megismerkedhettünk több IoT eszközzel, amelyeket a WaterScope Zrt. gyárt és forgalmaz, mint például az okos tűzcsap vagy a nyomáscsökkentő szelepet folyamatosan mérő eszköz. Végül ízelítőt kaphattunk az online hidraulikai modellezés alapjaiból, melyet már több helyen okos eszközökből

szerezett mérési adatok tesznek szinte élővé.

A harmadik és egyben záró előadást **dr. Berzsenyi Miklós**, a Controlsoft Kft. ügyvezetője tartotta „webSCADA7 – mesterséges intelligencia alapú modern üzemirányítás” címmel, amely a mesterséges intelligencia alapú karbantartási rendszerek lehetőségeiről és jelenéről szólt. A webSCADA 7 egy olyan komplex megoldás, amely több különböző szinten is felhasználható, előző verzióit már sokan ismerhetik. Az újabb verzióban több olyan újdonság is megtalálható, amelyek segítik a felhasználót eligazodni a digitális adatok tömegében. Természetesen a NIS 2 itt is fókuszban van, hiszen enélkül nem lehet egy vízműben semmilyen informatikai megoldást telepíteni. A NIS 2 mellett azonban olyan slágertémákban is támogatást nyújt a rendszer, mint az energiahatékonyság, a vízvesztesség csökkentés, a karbantartási költségek optimalizálása és a humán erőforrás menedzsment. Ahogy az már szinte minden rendszertől elvárható, a mobil alkalmazás mellett a desktop megjelenítés is megtalálható.

Megismerhettük röviden a rendszer architektúráját, a különféle komponenseit, az egyes funkcióit, azokat az egyedi megoldásait, amelyek segítik a felhasználók munkáját. Végül összefoglalóképpen kaptunk egy több olyan ötletet, javaslatot, hogy hol és hogyan lehet felhasználni a webSCADA szoftvert.



## „CSŐVEZETÉKRENDSZEREK HEGESZTÉSTECHNIKÁJA” SZEKCIÓ

**Zorkóczy Péter**

ügyvezető

Duna-Armatúra Kft.

[Zorkoczy.Peter@dunaarmatura.hu](mailto:Zorkoczy.Peter@dunaarmatura.hu)

A szerdai I. szekciókéső délutáni programját több szempontból is rendhagyó módon egy több mint egyórás megszakítás nélküli előadásfolyamként tartottuk meg, „PE csőhálózatok létesítése: Mit, miért és hogyan?” címmel.

Előadóink **Rozsnyay Kálmán** az FGF Bt. ügyvezetője, **Kazsik Gábor** a Paorvíz Kft. ügyvezetője, **Nagy Balázs** az Aliaxis Hungary

SEE Kft. üzletágvezetője, **Balogh Zoltán** a Bácsvíz Zrt. üzemeltetési igazgatója, **dr. Fülöp Roland** a BME egyetemi docense és **Séra István** szakértő voltak.

Az előadások részletesen elemezték a PE rendszerek előnyeit, a hegesztési technológiák (elektrofúziós, tompa) folyamatát, előírásait, követelményrendszerét, technológiai folyamatok lépéseit, ellenőrzési módszereket, a szükséges berendezéseket, szerszámokat, segédanyagokat, ellenőrzési módszereket. Mindannyian - ideértve a hallgatóság tagjait is - egyetértettek abban, hogy az elvárt eredmény szempontjából kulcsfontosságú a technológia készségi szintű ismerete, az előírások legszigorúbban vett betartása, és a folyamat ellenőrzése. Gyakorlati tapasztalok alapján abban is egyetértés mutatkozott, hogy a kivitelezést végző szakemberek, vállalkozások esetében messze nem egyértelmű, hogy a szakemberek mindenkor a szükséges ismeretek, eszközök birtokában és megfelelő ellenőrzés mellett végzik munkájukat.

A jövőben megvalósuló beruházások során kiemelt súlyt kell tehát fektetni a képzés és technológiai fegyelem kérdéseire, különös tekintettel az egyes tenderek megrendelői követelményeiben megfogalmazott részletes előírásokra. Ezeknek egyaránt vonatkozniuk kell a munkatársak képzésére, a kivitelező eszközállományára és a technológiai folyamatok ellenőrzésére. Hogy mennyire fontos és aktuális témát tárgyaltak az előadók, az abból is látszik, hogy a késői időpont ellenére majd félórát „ráhúztunk” az eredetileg tervezett befejezési időpontra.

A fent leírtak természetesen csak egy rövidke összefoglalása az elhangzottaknak, a rendkívül érdekes és tartalmas előadásokat mindenkinek javasolom a MaVíz honlapról letölteni és hosszútávra elmenteni.



## „ENERGIAMEGTAKARÍTÁS SZENNYVÍZTISZTÍTÁSI VONALON” SZEKCIÓ

**Radács Attila**

műszaki igazgató

BAKONYKARSZT Zrt.

[radacs.attila@bakonykarsztrt.hu](mailto:radacs.attila@bakonykarsztrt.hu)

A Víziközmű Konferencia első napján a II. sz. szekcióban 15:50-17:05 között három előadást hallgathattunk meg a szennyvízelvezetés és -tisztítás témakörében. A három előadásból kettőt a víziközmű szolgáltatók prezentáltak, míg egy a vízipari témakörben hangzott el. Mindhárom előadásra igaz volt, hogy alapvetően a költséghatékony üzemeltetés témaköréből merített. A két víziközműves előadásban a szennyvíztisztítás során adódó költségcsökkentési lehetőségekről volt szó, míg a vízipari előadásban a szivattyúzással összefüggésben hallhattunk költségmegtakarítást eredményező jó gyakorlatról.

A TRV Zrt. részéről **Barta Erika** tartott előadást „*Villamosenergia fogyasztás csökkentésére irányuló fejlesztések a TRV Zrt.-nél*” címmel. Előadásában első sorban a tisztító telepeken üzemelő, legnagyobb villamos energia felhasználású légfűvő berendezések üzemoptimalizációjáról volt szó. Szisztematikusan felépített program keretében cserélték le, illetve szabályozták be a fűvők üzemrendjét irányító oldott-oxigén szondákat. Ez igen jelentős számú tisztítótelepet érintett az üzemeltetési területen. Ennek eredményeként jelentős villamosenergia megtakarítást értek el, mely pozitív példa lehet minden üzemeltető számára.

**Volf Balázs** a BAKONYKARSZT Zrt. főtechnológusa a „*Villamosenergia megtakarítási program a Veszprém Városi Szennyvíztisztító telepen*” című előadásában a Társaság legnagyobb villamos energia fogyasztási helyszínén, azaz a Veszprémi szennyvíztisztító telepen elért eredményeket ismertette. Előadásában kitért a levegőztető rendszer optimalizálásával, valamint a téli-nyári időszakban alkalmazott iszapkor beállításával elért eredményekre, továbbá az energiahatékonysági program keretében beszerzett eszközök (gázmotor és napelempark) pozitív hatásaira is. Részletesen bemutatásra került az elmúlt évek villamos energia felhasználásában látható csökkenés, valamint a „saját termelésű” villamos energia mennyiségének növekedése is. Szép eredmény a vásárolt és megtermelt villamos energia 25-75%-os aránya az összes felhasznált villamos energia tekintetében.

„*Szennyvízszivattyúk gondozása*” címmel **Markovics Péter**, a Tesbu-99 Kft. munkatársa tartott egy érdekes előadást. A prezentációban ismertetésre került a szennyvízes szivattyúk várható élettartama és annak meghosszabbítási lehetősége a sziszte-

matikus, előre tervezett fenntartási munkák elvégzése által. A tudományos szintű elemzés rávilágított arra, hogy a megfelelő időközönként elvégzett karbantartási, felújítási munkák, milyen jelentős költségmegtakarítást eredményezhetnek az üzemeltető cégek számára.



### „SZENNYVÍZISZAP KEZELÉS ÉS FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEK” SEKCIÓ

**Homola Anett**

műszaki igazgató

Szegedi Vízmű Zrt.

[homola@szegedivizmu.hu](mailto:homola@szegedivizmu.hu)

Az első előadást **Nagy Miklós** (Silex Water Technologies Kft.), műszaki vezető tartotta „*Hulladékból erőforrás! – iszapszárítási technológiák és tapasztalatok*” címmel. Az előadó bemutatta a szennyvíziszap kezelés, víztelenítés terén szerzett tapasztalataikat, illetve ismertette az iszapszárítás lehetséges módszereit. Új szennyvíztisztító telep esetén célszerű figyelembe venni az iszap szárításának lehetőségeit is. Amennyiben solar szikkasztó kerül kialakításra, figyelembe kell venni a helyigényét. Be lett mutatva, hogy a víztelenített, vagy szárított iszapnak milyen hasznosítása lehetséges, illetve mennyi költséget lehet megspórolni, ha nem „vizesen” kerül a víztelenített szennyvíziszap szállításra. Érdemes megfontolni, hogy egy jól összehangolt iszapkezelő technológia mennyi feladatot és költséget vehet le az üzemeltető válláról, ha egy átgondolt rendszerré építik ki.

A második előadást **Veres Hajnalka** (ALFÖLDVÍZ Zrt.) műszaki főmunkatárs tartotta, „*A tápanyag-gazdálkodás időszerű kérdései és megoldásai az ALFÖLDVÍZ Zrt.-nél, avagy hogyan győzzük meg a mezőgazdaság szereplőit a kommunális szennyvíziszapok termőterületre történő kijuttatásának pozitív hatásairól*” címmel. Hajnalka az előadásában konkrét példán mutatta be a szennyvíziszap „jótekonny” hatását. Egy szántóföldi területen természetű növénykultúra termésszintjének tervezésén (tonna/ha) keresztül, a talajok termékenységének jellemzőit, a főbb agronómiai tulajdonságait ismertette, majd bemutatta, hogy milyen vizsgálatok,

milyen jogszabályi megfelelés szükséges a kihelyezéshez. Az előadás végén kivetítette, hogy ténylegesen az üzemeltetőnek mennyibe kerül az iszap kihelyezése a termőföldre, illetve mennyibe kerül az elszállítása, más módon történő hasznosítása. Nagyon érdekes előadás volt.

A harmadik előadást **Koncz Tamás** (Endress+Hauser Magyarország Kft.) mérnök üzletkötőt tartotta „*Inline szárazanyag mérés szennyvíziszapban*” címmel. Egy olyan mérőberendezést mutatott be, ami a szennyvíziszapban méri az összes oldott anyag mennyiségét. Az előadásból kiderült, hogy pl. rothasztó toronynál lehetne ezt a mérőberendezést használni. A mikrohullámú - nem optikai - eljárással mérő berendezés lehetőséget ad a TS=TSS+TDS mérés mellett a vezetőképesség és a hőmérséklet mérésére is. Ezzel csökkenthetők a szivattyúzási, energetikai és a polimer felhasználási költségek. A berendezés beépítésénél célszerű kiépíteni egy öblítési lehetőséget, ami biztosítja, hogy a berendezés hosszú időn keresztül karbantartás, tisztítás nélkül is pontosan üzemeljen.



### „VÍZMINŐSÉGI KÖVETELMÉNYEK, KÁRMENTESÍTÉS” SEKCIÓ

**Fazekas Zoltán**

műszaki igazgató

ALFÖLDVÍZ Zrt.

[fazekas.zoltan@alfoldviz.hu](mailto:fazekas.zoltan@alfoldviz.hu)

A szekció előadásai az ivóvízminőséggel kapcsolatos elvárások, kiemelten az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendeletnek történő megfelelés, továbbá a vízminőség biztosításához szükséges műszaki és vízbázis védelmi feladatokba nyújtottak bepillantást.

**Fábrók Tamás** (TRV Zrt.) és **Orosz Norbert** (Kristály Kft.) koprodukciójában „*Innovatív lehetőségek bemutatása egy előkészített munkán keresztül a rövid üzemszünet fenntartása érdekében*” címmel hangzott el az első előadás. A prezentáció egy, minden üzemeltető számára kihívást jelentő, kritikus rendszerelem felújításának előkészítését és a megvalósításban alkalmazható korszerű műszaki megoldásokat mutatta be. A Kristály Kft. által forgalmazott termékek és az egyedi megrendeléseket kiszolgáló PE csőidomok

előregyártása lehetővé teszi az üzemeltetők számára, hogy az előregyártás és a helyszíni szerelés kombinálásával nagymértékben lerövidítsék az üzemszünettel járó karbantartások időtartamát.

„A Szentendre, Regionális Déli vízbázis megmentése – kármentesítés a szolgáltató szemszögéből” címmel hangzott el **Imre Marianna** (DMRV Zrt.) előadása. Az előadás időrendi sorrendben mutatta be a vízbázis szennyezettség észlelését követően megtett intézkedéseket és a megvalósult vízbázis kármentési projektet. Az előadás fel kívánta hívni a figyelmet azokra a fontos döntési és ellenőrzési pontokra, amellyel egy üzemeltető szembesülhet a hasonló kármentési projektek során.

A vízminőség biztosításának vízkezelési technológiai oldaláról tartott átfogó előadást **Juhász Ivett** (TRV Zrt.). Előadásának címe: *Megfelelés az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendeletben meghatározott vízminőségi követelményeknek a TRV Zrt. üzemeltetési területén.* Az előadásban átfogó képet mutatott be azokról a technológiai problémákról, amelyek a rendelet bevezetését követően, mint technológiai beavatkozást igénylő feladatot jelentenek az üzemeltetők számára. Az előadás ismertette azokat a technológiai lehetőségeket is, amelyekkel az új határértékek, például a klorát probléma köre kezelhető. A hozzászólások alapján fontos konklúzió, hogy a problémák kiterjedtsége és a megoldás anyagi forrásainak biztosítása érdekében országos szintű programot lenne célszerű indítani.

A szekció záró előadásában „Az EU ivóvíz irányelv alapján megalkotott új 5/2023. (I. 12.) Korm. rendeletben meghatározott vízminőségi feltételek bevezetése a DRV Zrt.-nél” címmel **Szabó Kinga** adott elő a DRV Zrt. képviseletében. Az előadás kiválóan bemutatta azokat az új kommunikációs elvárásokat, amelyekkel a víziközmű-üzemeltetőknek meg kell felelni az új jogszabályi elvárások kapcsán. Az előadás során bemutatott kommunikációs és minősítési eljárások példaértékűek a területtel foglalkozó szakemberek számára. A hozzászólások alapján a hallgatókban az a közös vélemény alakult ki, hogy a víziközmű-szolgáltatóknak nehezen teljesíthető kihívást fog jelenteni az elkövetkezendő években a rendelet teljesítéséhez szükséges kommunikáció felépítése.



## „IVÓVIZES RENDSZEREK” SZEKCIÓ

**Debreczeny László**

üzemeltetési igazgató

Fővárosi Vízművek Zrt.

[debreczenyl@vizmuvek.hu](mailto:debreczenyl@vizmuvek.hu)

A szekcióülésen három előadás hangzott el. Az első előadó **Simon Elek**, a Fővárosi Vízművek Zrt. képviseletében „*Budapest Főváros víztermelő kútjainak fejlesztése, vízminőségi és kapacitáskockázatok kezelése*” című előadásában bemutatta a Nyílt Uniós eljárás keretében megvalósított KEHOP fejlesztést. A prezentáció a fejlesztési projekt víztermelő kutakra vonatkozó részét ismertette. A projekt keretében 60 db csáposkút került felújításra, amely során kutanként összesen 150 méternyi rozsdamentes anyagú, úgynevezett hídszűrős csápcső került kiszállításra, a közel 60 éves, szénacél anyagú préselt csápcsővek helyett. E mellett mindegyik kút teljes korrózióvédelmi felújítása is megvalósult, valamint magas hatékonyságú szivattyúk kerültek beépítésre. A fejlesztéssel javult a Főváros vízellátásának biztonsága, valamint szélsőségesen alacsony vízállás esetén több mint 50.000 m<sup>3</sup>/nap víztermelő kapacitással növekedett a kitermelhető mennyiség, főként a kutak hidraulikai tulajdonságainak javulásával.

A második előadás keretében **Pataki Zoltán** főmérnök és **Balla Patrik** vezető elemző a Tiszamenti Regionális Vízművek Zrt. részéről „*A Keleti-főcsatorna Felszíni Víz tisztítómű regionális szerepének bemutatása*” című előadásában bemutatták a Keleti-főcsatorna (KFCS) vízműteleppel kapcsolatban folyamatban lévő és előkészítés alatt álló beruházásokat, amelyek a gyorsan megújuló felszíni ivóvízkészlet biztonságos felhasználása érdekében történnek, történtek. Az előadásban kifejtésre kerültek a KEHOP pályázati forrásból épülő távvezetékek, azok üzemeltetési előnyei, valamint a vízműtelep és annak fejlesztése előtt álló szakmai kihívások.

A harmadik előadó **Huzsvár Tamás**, a DHI Hungary Kft. mérnöke „*DMA kialakítás tapasztalatainak bemutatása hazai, külhoni, valamint nemzetközi példákon keresztül*” című előadásában ismertette a nagyobb ivóvízhálózatokon kialakított mérési körzetek (DMA – district metering area) előnyeit. Ezen övezetekben a vízmérleg és más fő

működtetési paraméterek folyamatosan nyomon követhetőek, így pedig a hálózati problémák detektálása során jól körülhatárolt övezetekre fókuszálhat az üzemeltető. E folyamatnak egyik szükséges eleme az ilyen jellegű mérési zónák alapos megtervezése, hiszen ezen teljes lehatároltsága kulcskérdés, másfelől pedig egy olyan online monitoring rendszer kialakítására van szükség, amely nem csupán alkalmas a pontszerű mérések összekapcsolására egy felületen, de képes ezen adatokból valósidőben, minimális késéssel riasztásokat kiadni, valamint üzemeltetési javaslatokat tenni, hogy a megfelelő beavatkozás a lehető leghamarabb megtörténjen egy csőtörés vagy más jellegű havaria következtében.



## „SZENNYVIZES RENDSZEREK” SZEKCIÓ

**Dr. Patziger Miklós**

tanszékezető

BME

[patziger.miklos@emk.bme.hu](mailto:patziger.miklos@emk.bme.hu)

A szekció központi témája a regionális szennyvízkezelés, hosszú tartózkodási idejű hálózatok problémaköre volt. A hosszú tartózkodási idejű hálózatokban a szennyvíz anaerob biodegradációja miatt egyrészt leépülnek a szennyvízben lévő, könnyen hozzáférhető szénforrást biztosító vegyületek, másfelől pedig többek között kén-hidrogén gáz keletkezik, ami egyfelől bűzforrás és a beton és acélkorrózió alapoka. A kén-hidrogén gáz ugyanis a levegő vízpárájával keveredve kénessav kicsapódásokat okoz. Ez a szempont leginkább a decentralis szennyvíztisztítási módok felé tolják a hangsúlyt. Ugyanakkor a szennyvíztisztítók decentralis üzemeltetési többlet igényhez vezet, ami jelentős többlet személyzeti igénnyel és üzemeltetési költséggel jár. A szekcióban három érdekes vetületét világitották meg az előadók ennek a kérdésnek.

**Jancsó Béla** (FŐMTERV Zrt.) „*A Fertőrákos-Sopronkőhida szennyvizet közvetlen átforgatása a soproni szennyvíztisztító telepre*” című előadásában változatelemzést láthattunk egy reprezentatív területen arra, hogy egy térség kis szennyvíztisztítóját „Fertőrákos” megszüntetve hogyan lehet gazdaságosan bevinni a terület szenny-

nyvizeit a soproni szennyvíztisztító telepre a környék sajátosságait is figyelembe véve, mint pl. a Fertő tó környéke, mint fokozottan érzékeny és védett terület, az újonnan megépült M85-ös főút stb.

**Pieskó Erzsébet** és **Nagy Zsuzsanna** (DHI Hungary Kft.) „A szennyvíztisztító telepek felülvizsgálatát, korszerűsítését támogató rendszerszintű tervezés különösen az új szennyvízdirektívára való tekintettel” c. előadásában bemutatta a csatornahálózatok és a szennyvíztisztító telepek kapcsolt modellezési rendszerét, amely az alapja a komplex lefolyási és szennyvízminőségváltozások nyomonkövetésének és így a térségi és nagy kiterjedésű rendszerek tervezésének az alapja. Az előadás súlypontja a szennyvíztisztító telep modelleken, a szennyvíztisztító telepek úgynevezett digitális ikerpárján (digital twin) volt. Az előadók érdekes esettanulmányokat mutattak be.

**Zsadányi Péter** (KROFTA Víztechnológiai Kft.) „24 órás folyamatos H2S mérés üzemeltetési és méretezési tapasztalatai” című előadásában részletesen beszélt a csatornahálózatok biodegeneratív folyamatairól, a kén-hidrogén gáz képződéséről és a korróziós folyamatokról. Részletesen betekintést kaptunk a csatornahálózat bűzös légkörének a problémáiról, a használt levegő tisztítási módszereiről különböző szűrésekkel, illetve a szűrők tervezéséről és ennek a támogatására szolgáló folyamatos kén-hidrogén mérési módszerről.



### „IVÓVÍZKEZELÉSI TECHNOLÓGIÁK, HÁLÓZATVÉDELEM” SZEKCIÓ

**Balogh Zsolt**

műszaki igazgató

DMRV Zrt.

[baloghzs@dmrvzrt.hu](mailto:baloghzs@dmrvzrt.hu)

A Víziközmű Konferencia III-as szekciójának zárásaként az üzemeltetőket foglalkoztató vízminőségi és hidraulikai kérdéseket felvető előadásokra került sor.

Elsőként **Bata Péter** az Alföldvíz Zrt. főtechnológusa „Az ivóvízkezelő technológiák esetében alkalmazott biológiai ammónium-eltávolítás üzemeltetési nehézségei” című előadásában tárta

fel a Társaság biológiai ammónium eltávolítási gyakorlatát 10 települési ivóvíztisztító vonatkozásában. Előadásából kiderült, hogy milyen fontos a tisztítási technológia folyamatos és szoros nyomonkövetése, az oldott oxigénszintek mérése, elemzése, melyből a reaktorok biológiai aktivitására lehet következtetni. A reaktorokban az áramlási sebességek, a tartózkodási idők is komoly befolyással bírnak azok működésére, melyek változtatásával igen értékes következtetések vonhatók le. A tapasztaltok összefoglalása szinte véget nem érő hallgatósági kérdést generált, megnyitva az időkorlát által limitált szakmai mélységeket.

**Dr. Hős Csaba** a BMGE egyetemi tanára és **Medve Dániel Attila** „Biológiai aktivitás vizsgálata félüzemi csőhálózatban” című előadásában számolt be a csőhálózatokban tapasztalható biológiai aktivitást modellező kísérletükről. A vezetékekben a biofilm felépülésének, valamint annak megakadályozását végző klórozás eredményességét vizsgálták. Ellenőrizték a hálózatokban megjelenő biofilm kialakulásának számítási módszerét laboratóriumi körülmények között egy egyedileg épített berendezéssel, azzal a céllal, hogy a számítási módszereket tökéletesítsék, a preventív tervezést segítsék. Minden üzemeltető érdeklődéssel hallgatta tekintettel arra, hogy Magyarországon ez a probléma mindenütt előfordul.

**Drozdik Károly** a B.Meters Hungary Kft. műszaki vezetője „Légbeszívó- légtelenítő szelepek titkos élete (Mit csinálnak légbeszívó-, légtelenítő szelepeink, amikor nem látjuk őket?)” című előadásában a nyomott hálózatok hidraulikai anomáliáit mutatta be, melyek a hidraulikai problémákon túl energiahatékonysági szempontból is előtérbe kerültek. Az üzemeltetési biztonság, a nyomáslengések káros hatásai mellett, az utóbbi időben a jelentősen megnövekedett villamosenergia árak miatt is nagyon aktuális a téma. A légtelenítő és légbeszívó szelepek telepítési és üzemeltetési költségeit jelentősen meghaladhatja a hiányuk miatt kialakuló és tulajdonképpen veszteségként elkönnyvelhető többlet üzemeltetési költség. Erre kaptunk megoldási javaslatokat, hasznos berendezéseket, jó példákkal alátámasztva.

Azt gondolom, hogy mindhárom előadás a maga területén az üzemeltetőket napi szinten foglalkoztató érdekes témákat tárt a hallgatóság elé, ami a mindennapokba átültetve hasznosíthatóak.



### „FENNTARTHATÓSÁG, ZÖLD MEGOLDÁSOK” SZEKCIÓ

**Varga Ákos**

műszaki igazgató

Soproni Vízmű Zrt.

[varga.akos@sopronivizmu.hu](mailto:varga.akos@sopronivizmu.hu)

Első előadást **dr. Kovács Károly**, a BDL Kft. ügyvezetője tartotta, „Víziközmű szolgáltatók érintettsége és a vízipar szerepe az ESG alapú fenntarthatósági értékláncban - ESG és taxonómia kompatibilitás a víziközmű szolgáltatásban” címmel. Az ENSZ Milleniumi Fejlesztési Céljait 2000-ben fogadta el az ENSZ: A köznyelvben csak SDG-ként szereplő mozaikszó jelentése: Fenntartható fejlődési célok (Sustainable Development Goals). A tizenhét cél egyike, a hatodik, a víz. De a víz ugyanígy központi eleme az Európai Zöld Megállapodás (Green Deal) keretében elfogadott ESG (Environment – környezet, Social – társadalom, Governance – irányítás, vállalatvezetés) és Taxonomia rendeleteknek. Ezen rendeleteket egyesíti a 2023. évi CVII. Törvény a fenntartható finanszírozás és az egységes vállalati felelősségvállalás ösztönzését szolgáló környezettudatos, társadalmi és szociális szempontokat is figyelembe vevő, vállalati társadalmi felelősségvállalás szabályairól és azzal összefüggő egyéb törvények módosításáról. A taxonómiai megfelelésnek három pillére van: jelentős hozzájárulás a rendeletben meghatározott hat környezetvédelmi célkitűzés közül legalább egyhez, nem okoz jelentős kárt a rendeletben meghatározott öt másik környezetvédelmi célkitűzés bármelyikére nézve, minimális követelmények betartása. A legnagyobb hatáspotenciállal rendelkező ágazatok között foglal helyet a vízellátás és szennyvízkezelés, ezért az a téma az ágazatunk szempontjából releváns. Az előadás további részében szó esett még a további műszaki kritériumokat tartalmazó dokumentumokról, kitérve a mi ágazatunk érintettségére.

A második előadást **Veszprémi Zsuzsanna** tartotta az Amiblu Hungary Kft. képviselőjében „A legzöldebb termék az, amit nem kell kicserélni - innovatív Amiblu megoldások” címmel. Az Amiblu a világ egyik legismertebb üvegszál erősítésű polisztergyanta

csőrendszer gyártója, mert ismert a környezetvédelem és fenntarthatóság iránti elkötelezettségéről. Az előadásban az kerül bemutatásra, hogy a cég tevékenységében hogyan érvényesül, hogyan juttatják kifejezésre a fenntarthatóságot. Ez utóbbit a Környezetvédelmi és Fejlesztési Világbizottság meghatározása alapján úgy definiálták, hogy „olyan fejlődés, amely kielégíti a jelenlegi generációk szükségleteit anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő nemzedékek azon képességét, hogy kielégítsék saját igényeiket”. Ennek során figyelnek saját tevékenységeikre (pl. gyártási hulladékok mennyiségének csökkentése, életciklus elemzések), a beszállítók kiválasztására (pl. helyi szállítók a kisebb szállítási távolság érdekében, szállítók értékelése), alapanyagokra (pl. bio vagy újrahasznosított anyagok), megújuló energia használata (pl. nap- és szélenergia), a gyártási melléktermékek felhasználására (pl. maradványok hasznosítás játékszereken). A Társaság önkéntes alapon partnere az ENSZ Globális Egyezménynek. Az előadásban az ebből fakadó eredmények és a tervezett további lépések is bemutatásra kerülnek.

A harmadik előadást **Dauner Balázs**, a WILLO Magyarország Kft. értékesítési vezetője tartotta „Életciklusköltség szemlélet (köz) beszerzéseknél” címmel. Rögtön az elején a fogalmak jogszabályi meghatározásával kezdte az előadó. Elsőnek azokat a műszaki, üzembiztonsági, üzemviteli változásokat és sajátosságokat vette sorra az előadó, melyek olyan érdemi energia megtakarítási potenciált jelenthetnek, melyek az életciklus költségeket is csökkentik. Ezt egy kútszivattyú kiválasztás példáján szemléltette az előadó, milyen eredmények érhetők el, ha a kiírás során kellően körültekintő az ajánlatkérő. Ennek során kitért a méretezési paraméterekre (beépítési adottságok), a szivattyú jelleggörbékel szemben támasztott követelményekről, az alkalmazhatósági tartományra. Mindezen paraméterek figyelembevétele a pályázati kiírás során jelentős előnyöket hozhat megrendelő, de beszállító részére is, így a gyakorlatban jól használható ismeretekkel lettek gazdagabbak az érdeklődők.



# DULCODES LP

## UV berendezés

Másodperc pontosságú fényerő szabályozás



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



ProMinent®



**KREITNER KRISZTINA**  
PR-, marketing menedzser  
MaVíz

kreitner.krisztina@maviz.org

## MAVÍZ HÍREK

# Kitüntetések a Víziközművek Napja alkalmából

A 2024-es évben is megünnepeltük a Víziközművek Napját, az Országos Víziközmű Konferencia keretein belül. A rendezvényen a Díjátadó Esten kerültek átadásra az ágazati szakemberek számára az Elismerő Oklevelek, valamint a Havas András Víz és Innovációs Díj.

Az egri konferencia évről évre nagy népszerűségnek örvend; így volt ez idén is, ugyanis a Díjátadó Esten majdnem 500 főt köszönthettünk a Hotel Eger & Park Konferenciatermében.

Bízunk abban, hogy minden kitüntetett Kolléga örömmel és büszkeséggel folytatja tovább azt az áldozatos munkát, amelynek gyümölcseként az idei évben munkahelyi vezetőik, valamint a Szövetség Elnöksége is alkalmasnak ítélték a fenti díjra.

## ELISMERŐ OKLEVÉLLEN RÉSZESÜLTEK

**Androsovits József**, Dunántúli Regionális Vízmű Zrt. (vízműgépész);

**Borbély Alex**, Tiszamenti Regionális Vízművek Zrt. (beszerzési csoportvezető);

**dr. Kizlinger András**, BAKONYKARSZT Zrt. (értékesítési igazgató);

**Farkas Anett**, BARANYA-VÍZ Zrt. (részlegvezető);

**Felföldi Gábor**, DMRV Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. (irányítástechnikai műszerész);

**Fitos Ferenc**, BÁCSVÍZ Zrt. (üzemmérnökségvezető);

**Fojtáné Greman Éva Lívia**, DAKÖV Kft. (HR osztályvezető);

**Futó Lajos**, BORSODVÍZ Zrt. (vízhálózat csoportvezető);

**Fülöp Attila**, NYÍRSÉGVÍZ Zrt. (partnerkapcsolati csoportvezető);

**Havranekné Németi Ibolya**, Szegedi Vízmű Zrt. (környezetvédelmi osztályvezető);

**Hudák Marianna**, MIVÍZ Miskolci Vízmű Kft. (ügyfélkapcsolati osztályvezető);

**Ilyésné Zsidai Marianna**, Debreceni Vízmű Zrt. (műszaki üzemviteli osztályvezető);

**Jánosi Attila**, Dél-Pest Megyei Víziközmű Szolgáltató Zrt. (technológiai csoportvezető);

**Kis Péter**, HIDROKOMPLEX Mérnökszolgálati Kft. (irányító tervező; felelős tervező);

**Kovács Katalin**, ALFÖLDVÍZ Zrt. (felsővezetői asszisztens);

**Lengyel János**, Fővárosi Vízművek Zrt. (vízágazgatói technológiai vezető);

**Lipovics János**, PANNON-VÍZ Zrt. (műszaki igazgató);

**Meczker Ádám**, Mezőföldvíz Kft. (ivóvízhálózati csoportvezető);

**Molnár Zsolt**, Heves Megyei Vízmű Zrt. (ivóvízhálózati csoportvezető);

**Nagy-Kovács Zsuzsanna Ágnes**, Fővárosi Vízművek Zrt. (víztermelési mérnök);

**Orosz Sándor**, Tiszamenti Regionális Vízművek Zrt. (vízműgépész);

**Pamminger Sándor Balázs**, FEJÉRVÍZ Zrt. (művezető);

**Pap Imre**, VASVÍZ Zrt. (ivóvízágazgatói művezető);

**Szabolcsiné Hrenkó Erika**, NYÍRSÉGVÍZ Zrt. (műszaki ügyintéző);

**Szép Szandra**, TETTYE FORRÁSHÁZ Zrt. (beszerzési csoportvezető);

**Szűcsné Nagy Erika**, ÉRV. Északmagyarországi Regionális Vízművek Zrt. (gazdasági osztályvezető);

**Takó Gábor**, Kiskunsági Víziközmű-Szolgáltató Kft. (szennyvízágazgatói főmérnök);

**Tamás Szilvia**, Érd és Térsége Víziközmű Kft. (postázó);

**Vaszilók József**, Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. (adatbázis-kezelő);

**Venczel Viktória**, Északdunántúli Vízmű Zrt. (kontrolling szakértő);

**Zalka Csaba**, PANNON-VÍZ Zrt. (üzemmérnökségvezető helyettes)

## HAVAS ANDRÁS DÍJ:

A Magyar Víziközmű Szövetség által, a fiatal szakemberek számára kiírt Havas András Víz és Innovációs Díjra ebben az évben 8 pályamű érkezett be. Az öttagú Bíráló Bizottság **Nagy-Mezei Csengének**, a Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. technológus mérnökének, a Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem doktorandusz hallgatójának ítélte oda a díjat.

Pályázatának címe: *Gyógyszerhatóanyagok eltávolíthatósága kommunális szennyvíztisztító telepen.*

A téma aktualitása jelentős, hiszen a szennyvízkezelési direktíva módosításának küszöbön álló bevezetése miatt a hazai üzemeltetőknek szembe kell nézniük a mikroszennyezőkre vonatkozó új követelményekkel. A dolgozat ennek a problémának megy elébe, nem csak elvi síkon, hanem a lebonthatóság elvét mérési eredmények tükrében értékeli, teszteli.

**Gratulálunk minden kitüntetettnek, további munkájukhoz sok sikert és erőt, a nyugdíjas kollégáknak pedig családjuk körében eltöltött boldog éveket kívánunk szeretettel!**



Nagy-Mezei Csenge (Havas András Díj)



**KLOKNICER TAMÁS**<sup>1,2,3</sup>  
kutató/szakértő



**SÁNDOR DÁNIEL  
BENJAMIN**<sup>1</sup>  
K+F igazgató



**DR. SZABÓ ANITA**<sup>1,2</sup>  
vezérigazgató

**1:** Inno-Water Zrt.;  
**2:** Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola;  
**3:** Óbudai Egyetem Környezetmérnöki és Természettudományi Intézet

tkloknicer@gmail.com  
sandor.daniel@innowater.hu  
szabo.anita@innowater.hu

**KIVONAT:** A biológiai szennyvíztisztításban az egyik leghatékonyabb a mozgóágyas biofilmes tisztítás. A hordozóanyag a legtöbb esetben valamilyen műanyag, mérettartománya pedig 2-70 mm közé tehető. Legfontosabb paraméterük a fajlagos felület, mely 78 és 5500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> között alakul. Mind a fizikai méretek, mind pedig a fajlagos felület egy dologhoz vezet: a biofilmes mikroorganizmusok számára megfelelő környezetet teremteni a szennyvíz megtisztításához. Léteznek a hagyományos hordozóanyagoknál kisebb méretűek, melyek alapanyaga gyakran PVA. Ezek mérettartománya 200 µm és 4mm között van. A rendkívül kis átmérőnek köszönhetően magasabb fajlagos felülettel rendelkeznek, mely nagyobb biomassza tömeget, jobb tisztítási hatékonyságot, és jobb ellenállóképességet jelent. Az általunk fejlesztett MICROBI technológia esetében a hidrogélek mérete változó, 293 és 1362 µm között alakul, fajlagos felülete ~ 63000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. A kis méret azonban több kihívást jelent a biofilm és a hordozó elválasztását illetően, mely azonban elengedhetetlen bizonyos technológiai számításokhoz.

**KULCSSZAVAK:** MBBR, szennyvíztisztítás, hordozóanyag, biofilm

## AKTUÁLIS

# A mozgóágyas biofilmes tisztítás és a MICROBI: kihívások a biofilm vastagság számításban

## BEVEZETÉS

A biológiai szennyvíztisztítás a XX. század elején látott napvilágot, melynek már akkor több típusa volt ismert, köztük eleveniszapos, illetve csepegtetőtestes eljárások (Förstner, 1993). Az eleveniszapos eljárás során a tisztítást olyan mikroorganizmusok végzik, melyek szabadon, illetve pelyhes formában találhatóak meg. Egy pelyhely lényegében keveréke a szubsztrátoknak, a különféle fonalas és sejtes mikroorganizmusoknak, illetve azok kolóniáinak (Rieger et al, 2012).

A biofilmes rendszerek esetén a tisztítás alapja egy olyan mikroorganizmus közösség, ami valamilyen hordozó anyaghoz rögzült életmódot folytat. Ennek következtében a helyhez kötött mikroorganizmusok sokkal stabilabb kultúrát képesek kialakítani, mint pelyhes társaik. A stabilabb szerkezet egy tömör, vastag biofilm szerkezetet eredményez, amely ellenállóbb az egyes környezeti hatásokkal szemben, jobban viseli a terhelés ingadozását, illetve a biofilmes rendszerek esetében hatékonyabbak az egyes mikroorganizmusok közötti együttműködések, mint például az exoenzimekkel történő szubsztrát bontás (Barwal & Chaudhary, 2014). A biofilmnek valamilyen módon rögzülnie kell egy felülethez, melynek legelső lépése a fehérjék adszorbeálódása az adott anyagon. A fehérjék - köszönhetően változatos felépítésüknek - a leginkább felületaktív biopolimerek. Rendelkeznek hidrofób, hidrophil, poláros és apoláros szakaszokkal, melynek következtében gyakorlatilag bármilyen felülethez képesek kötődni. Mivel ezek a szakaszok általában váltakoznak a fehérjék felületén, így egyszerre több ponton is képesek kötődni. Miután megtörtént a

fehérje adszorpció, a szerkezete átrendeződik olyan formára, hogy a fehérjékhez már könnyedén kötődjenek mikroorganizmusok (Hladi és Bujis, 1996). A biofilm növekedésének a szakirodalom általában öt fázisát különíti el: a kezdeti kötődés fázisát, az irreverzibilis kötődést, a növekedés első és második fázisát, valamint az érett biofilm terjedését, illetve leszakadását (Kaplan et al., 2003).

## A BIOFILMES RENDSZEREK TÍPUSAI

A biofilmes rendszerek közül elsőként a fixfilmes rendszerek jelentek meg. Ennek több formája létezik, az egyik, talán legelterjedtebb korai típus a csepegtetőtestes rendszer. Lényege, hogy egy hordozóanyaggal töltött reaktoron keresztül áramlik a tisztítandó szennyvíz, melyben helyhez kötött organizmusok végzik a tisztítási folyamatot. Általában aerob rendszerekről beszélünk, és a levegőztetési igénye alacsony, mivel sok esetben nem telített a rendszer. A biofilm növekedésének évszakos változása ismert, télen megvastagodik, míg tavasszal a letapadt biofilm gyakran felszakadozik. Olyan esetekben alkalmas tisztítási forma, ahol alacsony a lebegőanyag tartalom, és magas az oldott BOI (>500 mg/l) koncentráció (Ibrahim et al, 2012).

További elterjedt biofilmes tisztítási módszer a forgó-merülő tárcsás biológiai szennyvíztisztítás. A technológia lényege, hogy több vékony tárcsa kerül egymás mellett elhelyezésre, melyet egy kis villanymotor forgat lassan egy medencében, melybe szennyvíz került bevezetésre. A kezdetekben a tárcsákat fából, majd műanyagból készítették (wapp.hu). A műanyag lehet MDPE, PVC, de alkalmazhatnak fém, illetve azbesztcement tárcsákat is.

Egy ilyen rendszer fajlagos felülete 150-200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> között alakul. A tárcsák 40-50 %-a van folyamatosan víz alatt, e fölött kiegészítő levegőztetés szükséges (Ibrahim et al, 2012).

Mindkét biofilmes rendszer esetében probléma, hogy a fajlagos felület alacsony, így nem képesek nagy mennyiségű biofilm hordozására. Az 1980-as évektől jelentős fejlődésnek indultak az anyag-tudományok, illetve a műanyag gyártás, melynek köszönhetően sokkal finomabb felületű, illetve szerkezetű hordozóanyagokat tudtak létrehozni. Ennek eredménye, hogy a fajlagos felületet úgy tudták tovább növelni, hogy az nem okozott eltömődést a biofilm növekedésével. Ezzel, illetve a teljes hordozóanyag víz alá vitével elérhető 3500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> fajlagos felület, 30-40 000 mg/l-es biomassza koncentráció (Ibrahim et al, 2012).

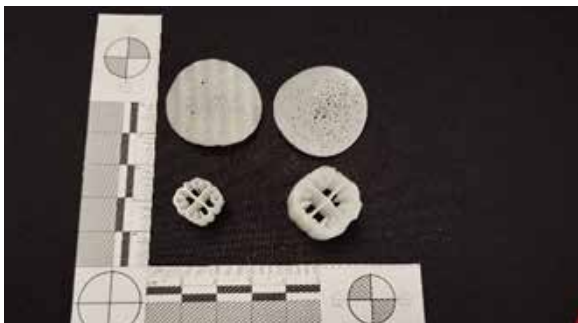
## MOZGÓÁGYAS BIOFILMES HORDOZÓANYAGOK

A fixágyas biofilmes rendszerek mellett megjelentek az olyan rendszerek is, melyekben a hordozóanyag nem rögzült, tehát lebegő, mozgó állapotban van a biológiai medencékben. Ezt a technológiát a szakirodalom MBBR-nek (Moving Bed Biofilm Reactor), azaz mozgóágyas biofilm tisztításnak nevezi. A technológia előnye a gyorsabb ülepedés, stabilabb organizmus közösség és csökkentett fölösizap képződés (Metcalf & Eddy, 2003). Az MBBR technológia esetében változatos lehet a hordozóanyag mind méretben, mind pedig alapanyag tekintetében. Utóbbi tekintve HDPE, PE és PP a legelterjedtebb alapanyag. Fajlagos felületük változó lehet, melyek értékeit az egyes típusokkal a következő táblázat tartalmazza.

Gyártó	Modell	Átmérő [mm]	Vastagság [mm]	Felület [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	Védett felület [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
Kaldnes (Ramussen 2011)	K1	10	7		500
	K2	15	15		350
	K3	25	10		350
	Natrix Media	60	50		310
	Biofilm Chip M	45	3		900
ztsmallboss (ztsmallboss.com)	Biochip szennyvíz	25	1,1	800	-
	PE05	25	10	600	-
	PE38	25	10	800	-
	PE75s	25	4	1600	-
	PE75	25	4	1600	-
	PE09	25	5	900	-
	PE64s	25	4	1000	-
	PE04	16	10	800	-
	PE08	5	10	3500	-
	PE03	10	7	1000	-
	PE02	11	7	900	-
	PE01	12	9	800	-
	Biochip recirkuláció	30	1,1	5500	-
	SSI Aeration (ssiaeration.com)	EEVE675	25	12	675
EEVE700		25	12	700	-
EEVE870		25	12	870	-
Hel-X (hel-x.eu)	HX09KL	9	7	836	495
	HX09	9	7	861	461
	HX75	75	75	78	66
	HX75K	75	75	84	69
	HX65	65	65	102	85
	HX65K	65	65	96	78
	HX50	50	50	148	125
	HX38	38	38	188	141
	HX38K	38	38	195	149
	H2X36glatt	36	36	322	268
	H2X36	35	36	239	188
	HX25	25	25	312	226
	HX25KLL	25	25	360	273
	HXF25KLL	25	25	420	342
	HX18KK	18	18	475	304
	HXF18KK	18	18	492	387
	HX17KL	17	15	437	264
	HX17KLL	17	17	602	393
	HXF17KLL	17	17	595	496
	HXF14KLL	14	14	767	644
	HXF13KLL+	13	13	955	806
	HXF12KLL	12	12	859	704
	HEL-X FLAKE 30	30	1,1	5000	-
HEL-X FLAKE Pro	30	1,2	5500	-	
bio-Fil (bio-fil.es)	TYPE C	28		460	-
	TYPE CT	28		460	-
	TYPE C-2	25		590	-
	TYPE C-2T	25		590	-
Mutag (mutag.com)	MUTAG Biochip	30	1,1	4000	-
Nexom (nexom.com)	BioPorts Media: 600-14	18	14	589	-
	BioPorts Media: 900-09	17-20	9	942	-

1. táblázat: MBBR hordozóanyagok technikai paraméterei

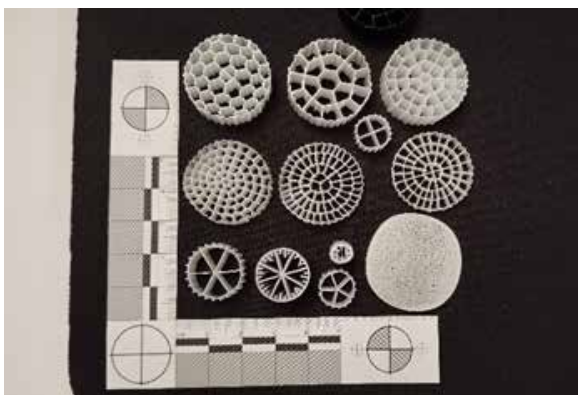
A fenti táblázat alapján is érzékelhető, hogy változatos méret-tartománnyal, illetve kapacitással rendelkeznek az egyes hordozóanyagok. Mérettartományuk a néhány milliméteresig terjed, valamint legnagyobb fajlagos felületük  $5500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Az egyes biofilm hordozókról készült képeket a **1-3. ábrákon** szemléltetjük.



1. ábra: HelX hordozó



2. ábra: Mutag hordozó



3. ábra: Small Boss hordozó

Több carrier esetében beszélhetünk védett részekről, melyeket az egyes gyártók azért fejlesztettek ki, hogy a biofilm azokon a részeken védetten növekedhessen, a keverés és a levegőztetés, valamint a hordozók egymással történő érintkezése miatt keletkező nyíróerők ne roncsolják a kialakult biofilmet.

## MIKROSKÓPIKUS BIOFILM HORDOZÓK

A hagyományos carrierek mellett léteznek más hordozó anyagok is, melyek célja elsősorban a fajlagos felület további növelése. A NUVODA amerikai cég által készített Kenaf nevezetű mikro-hordozót rostmályvából készítik, a hordozó maga lényegében lignocellulóz. Az egyes szemcsék mérettartománya  $600$  és  $1400 \mu\text{m}$  közé tehető, mellyel a fajlagos felület  $20\,000$  és  $463\,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$  között alakul (Wei et al, 2021).

Wang és munkatársai 2017-es munkásságukban  $4 \text{ mm}$  átmérőjű, PVA alapú hidrogéleket alkalmaztak a szennyvíztisztítási kísérleteikben, melyekben  $65\text{-}85\%$ -os KOI,  $59\text{-}98\%$ -os ammónium eltávolítási hatékonyságot értek el. Hasonló hidrogélekkel végeztek kísérleteket, ahol  $12$  literes reaktorokban végeztek kísérletet. Eredményeik szerint  $90\%$  KOI eltávolítási hatékonyságot értek el, amennyiben a KOI értéke nem haladta meg a  $1,5 \text{ g/l}$  értéket. E mellé  $45\%$ -os összes nitrogén eltávolítási hatékonyság társult  $0,117\text{-}0,551 \text{ g/l}$  TN koncentráció mellett (Chen et al, 1998).

Egy 2019. évi tanulmányban PVA és PEG keverékét alkalmazzák, mint szennyvíztisztító mikroorganizmus hordozóanyag. Vizsgálataik során a  $20\text{-}15\text{-ös}$  PVA-PEG arány esetében a fajlagos felület  $69,86 \text{ m}^2/\text{g}$  volt, míg a sűrűség  $0,83$  és  $1,08 \text{ g}/\text{cm}^3$  között alakult. Ez átszámítva  $57,98\text{-}75,45 \text{ m}^2/\text{cm}^3$  térfogatra viszonyított fajlagos felületet jelent (Shin et al, 2019). A hordozó átmérője  $10,85 \text{ mm}$  és  $12,79 \text{ mm}$  között alakult. A felületszámítások itt már tartalmazzák a hordozók pórusai által hozzáadott felületet, nem pedig pusztán annak geometriája (határolófelülete) alapján került kiszámításra.

Surkatti és munkatársai (2024) PVA alapú hidrogélt állítottak elő, melyhez Vas-oxid ( $\text{Fe}_3\text{O}_2$ ) és Titán-oxidot adtak hozzá ( $\text{TiO}_2$ ) különböző mértékben. A polimerizációs folyamat során PVA oldathoz adtak különböző mennyiségben az említett fém vegyületekből, majd melegítették ( $70\text{-}80 \text{ }^\circ\text{C}$ ) és lehűtötték ( $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), hogy a megfelelő számú keresztkötés alakuljon ki a molekulák között.

A folyamat iniciátora bórsav volt. Hassan és Peppas (2000) szerint a mikroorganizmusok és a stabilitás szempontjából a kémiai polimerizáció a preferált, így ők is ezt a módszert alkalmazták. Anyagkutatási eredményeik szerint a titán-oxid alkalmazása növeli a hidrogélek szerkezeti ellenállását.

Hou és munkatársai (2020) PVA alapú hidrogéleket állítottak elő ciklodextrin mellett történő polimerizáció során. A különböző típusú hidrogéljeik tömegre vetített fajlagos felülete  $27,77$  és  $29,96 \text{ m}^2/\text{g}$  között alakult.

Chen és munkatársai (1998) SEM mikroszkóppal vizsgálták PVA alapú hidrogélek felületét, miközben szennyvíztisztítási kísérleteket hajtottak végre. A mikroszkópos képkészítésen kívül azonban nem végeztek biofilm elemzéseket.

Egy kutatásban  $4 \text{ mm}$ -es hidrogélek felületét vizsgálták SEM mikroszkóppal, mely során nem végeztek biofilm vastagságra vonatkozó vizsgálatokat. Ezzel szemben DNS szekvenálást folytattak D5625 DNA tesztikkel, hogy mikroorganizmus taxonokat különítsenek el a hordozó felületén (Wang et al, 2017).

## BIOFILM VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A hagyományos eleveniszapos rendszerek esetében általánosan elterjedtek a szerves/szervetlen anyagvizsgálatok, légzésesztek, illetve bonthatósági vizsgálatok. Ezeket kiegészítendő különböző mikroszkópos vizsgálatok is elterjedtek, melyek indikátor szervezetre épülnek, azok jelenléte, illetve hiánya sok mindent jelezhet egy iszap „jóságával” kapcsolatban. A biofilmes rendszerek esetében alkalmazhatóak az említett vizsgálatok, de nem adnak teljes képet a biológiai aktivitásról, ahhoz hozzátartozik a biofilm fejlettségének vizsgálata is, melynek egyik alapvető eleme a biofilm vastagsága.

A biofilm vastagságának vizsgálatához Hoang és munkatársai (2014) scanning elektron mikroszkópot (SEM) alkalmaztak, a mintákat előkezelés nélkül vizsgálták, majd szoftveresen (Atlas image processing) elemezték a mintáról készült képeket. A vizsgálatban K1-3 Anoxkaldnes hordozót alkalmaztak, mely a PE5 típushoz (3. táblázat) hasonló méret és formabeli paraméterekkel rendelkezik. A mikroszkópos felvételeken egyértelműen elkülöníthető a biofilm és a média, így könnyen számítható annak vastagsága.

Tanulmányukban a biofilm vastagság 95 percentilis értékei 110-225 µm között alakultak, illetve 40 µm vastagodást figyeltek meg a hőmérséklet emelkedésére (téli és nyári üzem közötti eltérés). Vizsgálatuk szerint a belső, védett területek gyakorlatilag betelepültek, míg a külső részeken nem volt értékelhető vastagságú biofilm. Kiszámítottuk, hogy a hasonló méretű és fajlagos felületű hordozók esetében mekkora a védett felület aránya a teljeshez viszonyítottan, melynek értéke 75,9% lett. Ez alapján a betelepülés mértéke az esetükben 75% körülire tehető.

Arabgol és munkatársai 2020. évi kutatásukban sztereómikroszkópot alkalmaztak a biofilm vizsgálatokhoz, majd Fiji szoftvert az elkészült képek elemzéséhez. Vizsgálatonként 3 hordozót vizsgáltak, azokon 64 helyen mértek biofilm vastagságot, majd átlagot vettek az egyes hordozókra. A vizsgálat során friss mintából dolgoztak, nem alkalmaztak kezelést a biofilmen. A kísérletek során Anoxkaldnes K5, Z200 és Z400 típusú hordozót alkalmaztak. Előbbinek 800 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> védett fajlagos felülete van, mely 83%-os betelepültséget jelent, míg utóbbiak esetén hasonló méret, de kétszer akkora fajlagos felülettel jellemezhető egy hordozó. A hordozókon a biofilm vastagsága sorrendben 281, 112 és 174 µm volt. Utóbbi kettő esetében a védett terület szándékosan alacsonyabb, ezzel meggátolja a túlzott biofilm vastagság kialakulását.

Bjornberg és munkatársai 2009-ben Hydroxil-Pac hordozót alkalmaztak, melynek teljes fajlagos felülete 568 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, míg védett fajlagos felülete 388 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Sztereo mikroszkópot és ImageJ szoftvert alkalmaztak a biofilm vastagság megméréséhez. A vastagság 150-300 µm között alakult, mely erősen hőmérséklet függő volt.

Egy 2016-os átfogó, biofilm aktivitást kutató értekezésben megállapították, hogy 200 µm biofilm vastagság felett nem növekszik szignifikánsan az eltávolítási hatékonyság. E mellett a biofilm vastagodásával nő a biofilm mikroorganizmusainak diverzitása, köszönhetően a szimultán aerob és anaerob körülményeknek. Ugyanakkor, ha az aerob folyamatokat tekintjük, 20-30 µm az optimális biofilm vastagság (Torresi et al, 2016). Ezzel szemben Barwal és munkatársai (2014) szerint a biofilm vastagságának el kell érnie a 100 µm-es vastagságot, hogy a szubsztrátokat teljes mértékben fel tudja venni és megkötni a rögzült biomasza.

Rostmályva alapú hordozóanyagokkal végzett kísérletet Wei és munkatársai. A vizsgálataikban a hordozót különböző sűrűségű

szitákkal, mosogatás közben választották el és szedték részekre, majd SEM mikroszkóppal elemezték. Az elemzés szerint az átmérő 600-1400 µm között alakult a hordozók 60%-ában, maximálisan 2200 µm vastagsággal. Átmérő vizsgálatok mellett a biofilm vastagság vizsgálatokhoz zöld flouescens nukleinsav festéket (Thermo Fischer Scientific) alkalmaztak, hogy elkülönítsék a biofilmet a hordozótól. Vizsgálataik szerint a biofilm átlagosan 75 µm vastagságú volt a hordozón (Wei et al, 2021).

A rendelkezésre álló eredmények, termékek, illetve műszaki paraméterek alapján megállapítható, hogy a hagyományos hordozóanyagokra épülő technológiák esetében több változat, illetve számos gyártó terméke közül válogathatunk, valamint az ezekre települő biofilm vizsgálatára pontos és részletes szakirodalom áll rendelkezésre. Ezzel szemben a mikroszkopikus méretű hordozók egy új tudományterületet képviselnek, több anyagtudományi vizsgálat zajlik az egyes hidrogélek tulajdonságainak fejlesztése, illetve feltérképezése érdekében, ebből fakadóan nem áll rendelkezésre olyan kiterjedt és részletes szakirodalmi tudásanyag, mint a hagyományos hordozók esetében.

## ANYAG ÉS MÓDSZERTAN

A hidrogélek mérettartományának vizsgálatához nagy mennyiségű képet készítettünk (35-50 kép/minta) a hidrogélekről fénymikroszkóp (Zeiss AXIO Lab A1) és a hozzá tartozó szoftver (Zen 3.1, Blue Edition) segítségével. Ezt követően az Image Pro képfeldolgozó szoftver alkalmazásával elkülönítettük a teljes gélfelületet, illetve a biomaszával beborított területet. A vizsgálat, illetve a képfeldolgozás eredményeképpen nagy mennyiségű adat áll rendelkezésünkre a biofilm vastagságának növekedésére vonatkozóan, valamint, hogy a rendelkezésre álló felület hány százalékán van élő biomasza. Az élő biomaszát TTC festéssel (0,5% Trifenil Tetrazólium klorid) különítjük el a gélfelület többi részétől.

Egy mintavétel során az egyes hordozókról több tulajdonságot veszünk fel, melyek az adott hordozó átlag/minimum/maximum átmérője, a felülete, valamint a betelepültség mértéke. A program számította minimum és maximum érték egy hordozó esetében az átmérő vonalak legnagyobb, illetve legkisebb értékét, míg az átlag az összes vonal átlagos hosszúságát jelenti. A hor-

dozó betelepültségének mértékét százalékos értékben adjuk meg. Ennek eredete, hogy az alkalmazott szoftver kiszámolja a hordozó teljes felületét, majd leválogatjuk szín alapján (TTC festés) a betelepült részeket, így megkapjuk a nem betelepült területek méretét. A következő képlettel történik a számítás:

$$B = \frac{A_{\text{egész}} - A_{\text{üres}}}{A_{\text{egész}}} * 100$$

Ahol:

**B** – Betelepülés mértéke [%],

**A<sub>egész</sub>** – Teljes hidrogél felület [pixel]

**A<sub>üres</sub>** – üresen maradt, nem betelepült részek [pixel]

Mivel az eredmények %-os értékben értendők, nem szükséges a program alapvető számítási egységét, a pixelt átállítani. Amikor átmérőt szeretnénk vizsgálni a program segítségével, szükséges egy kalibráló fénykép készítése, melynek segítségével meg tudjuk adni, hogy egy pixel hány mikrométer. Az így kapott váltószámmal szükséges átváltani a programból kapott átmérő pixel eredményeket mikrométer mértékegységre.

Egy mérés során kaptunk 40-75 átlag/minimum/maximum értéket, mely azt jelenti, hogy az egyes hidrogél két pontja közötti legkisebb távolság (minimum), legnagyobb távolság (maximum) és átlagos átmérőt jelöli. Az adatok áttekinthetőbb vizsgálata érdekében egy vizsgálat mintáit érdemes összevonni, így vettük az egyes komponensek (min/max/átlag) átlagát, amiből a további számításainkat képeztük. Az elemzések elkészítéséhez Excelt, és Past statisztikai értékelő szoftvert alkalmaztunk.

A biofilmes vizsgálatok mellett meghatározásra került a hidrogélek fajlagos felülete. A vizsgálat során meghatároztuk, hogy adott hidrogél térfogat mellett (30 perces ülepedés után) összesen hány darab hidrogél található. Ez alapján már kiszámítható a hidrogél mennyiség térfogategységre vetítve. Ezt követően a kontroll mikroszkópos vizsgálatokból kapott hidrogél átmérőből kiszámoltuk egy hordozó felületét. A kettőből már számítható a fajlagos felület a következő képlet segítségével:

$$\frac{C_{gél}}{V_{gél}} * 10^6 * \frac{4r^2\pi}{10^{12}}$$

Ahol:

$C_{gél}$  – hidrogél darabszáma, [-]

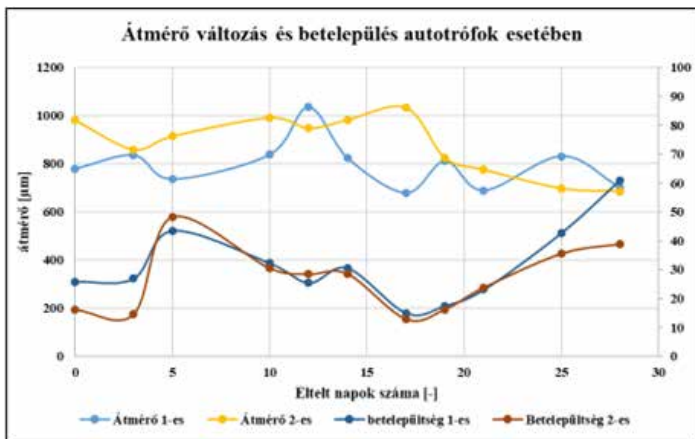
$V_{gél}$  – hidrogél térfogata 30 perc ülepedést követően [ml]

$r_{gél}$  – hidrogél átlagos sugara [ $\mu\text{m}$ ]

A vizsgálatok egy részét laboratóriumi körülmények között végeztük el. Ebben az esetben speciális üveg reaktorokat alkalmaztunk, mesterséges szennyvizet készítettünk, és meghatározott ciklusidővel SBR (sequence batch reactor) üzemmódban működött a különböző hidrogéllal feltöltött reaktorokat. Autotróf kultúrákat vizsgáltunk. Üzemi körülmények között egy konténerizált technológiát töltöttünk fel hidrogélekkel, mely biológiai reaktorok mérete egyenként 6,92 m<sup>3</sup>. A konténer folyamatos átfolyású, naponta 28 m<sup>3</sup> kommunális szennyvíz megtisztítására képes.

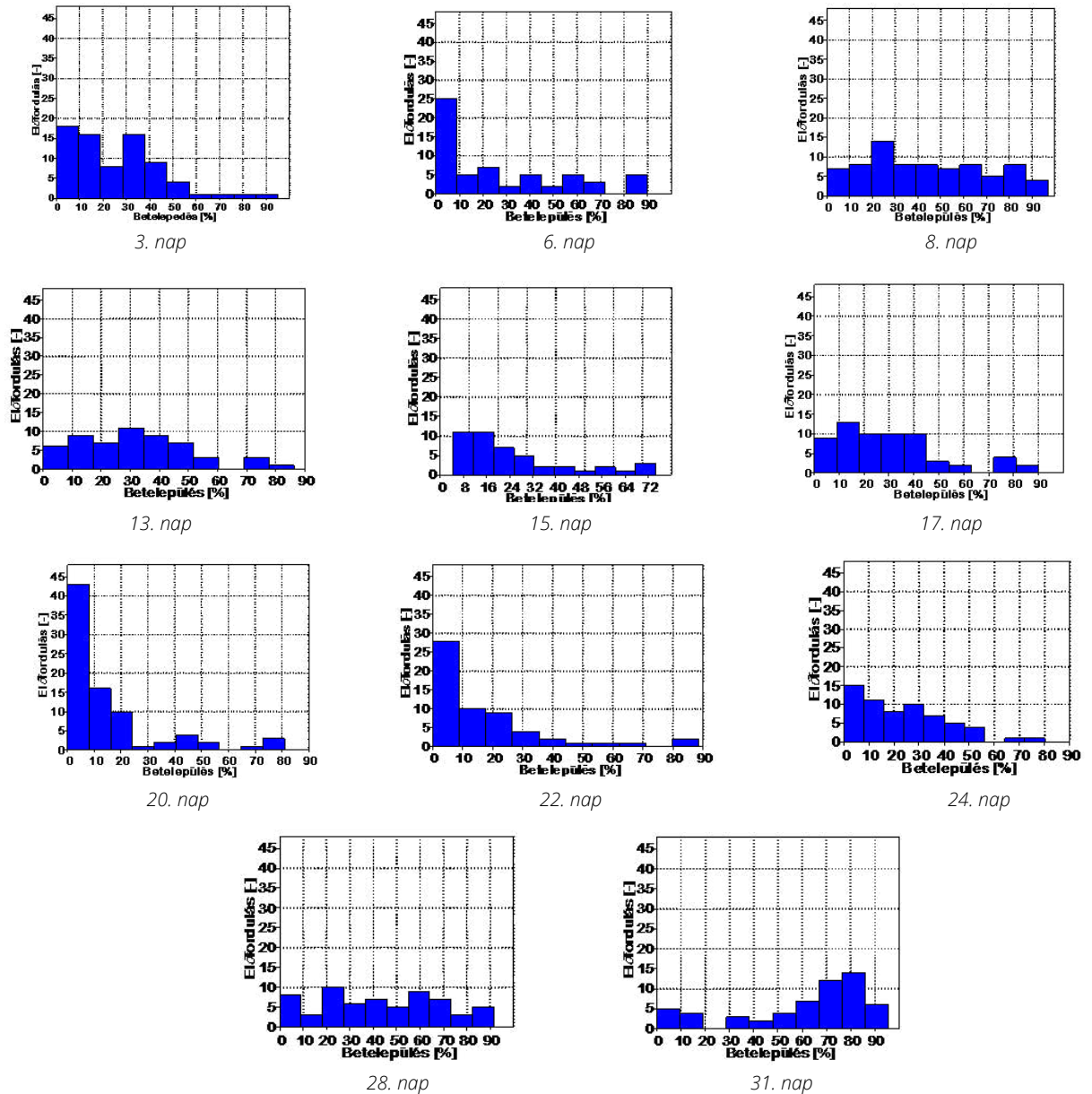
### BIOFILM SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

A laboratóriumi vizsgálatok során autotróf organizmus kultúrák betelepítését vizsgáltuk „alap”, illetve aktívszén adszorbenssel szintetizált hidrogélek esetében (1-es és 2-es reaktor). Ebben az esetben az összes mért átmérőnek vettük az átlag értékét, az eredmények a 4. ábrán láthatóak.

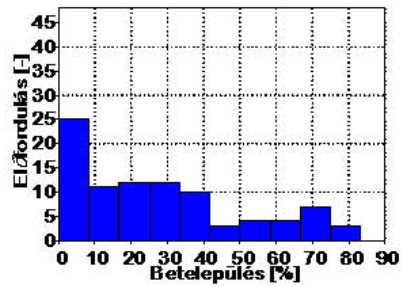


4. ábra: Autotróf kultúrák betelepítése és átmérő változása

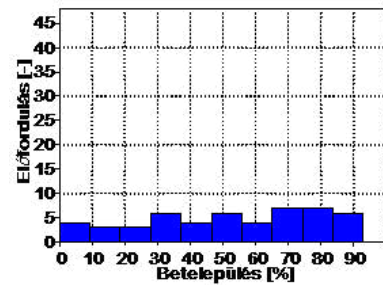
Az ábrán látható, hogy a betelepedés mértéke ingadozott, kis mértékben növekedett a vizsgálat alatt, míg az átmérő nem növekedett szignifikánsan annak ellenére, hogy biofilm a betelepedettség érték alapján növekedést mutat annak felületén. Ezért megvizsgáltuk azt, hogy milyen eloszlást mutat a betelepedettség aránya az egyes mintavételi időpillanatokban (5. ábra).



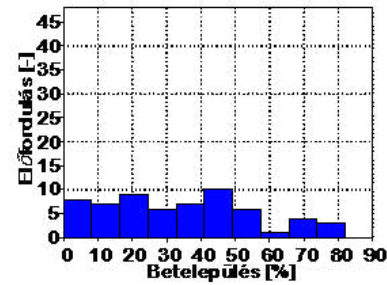
5. ábra: Betelepülés eloszlásának változása az alap hidrogél esetében



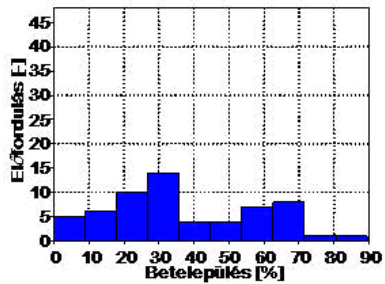
3. nap



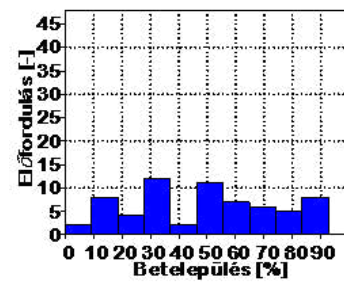
9. nap



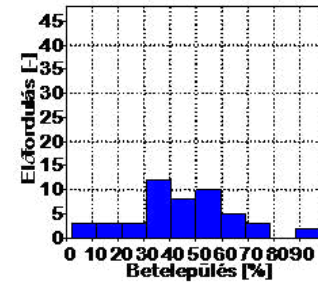
13. nap



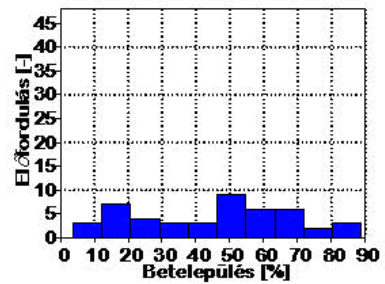
16. nap



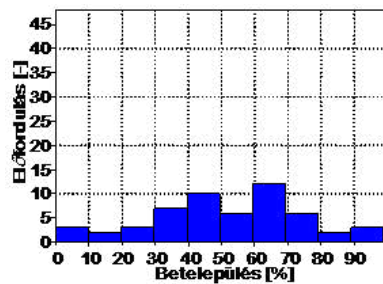
19. nap



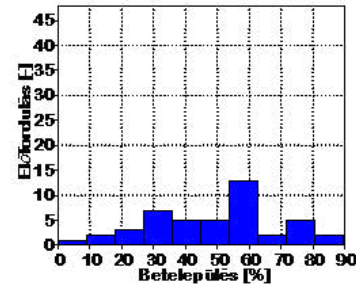
26. nap



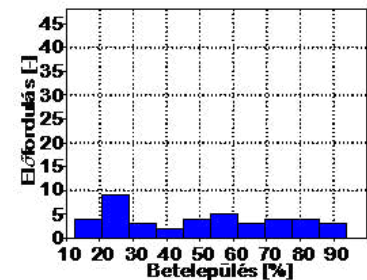
32. nap



34. nap



37. nap



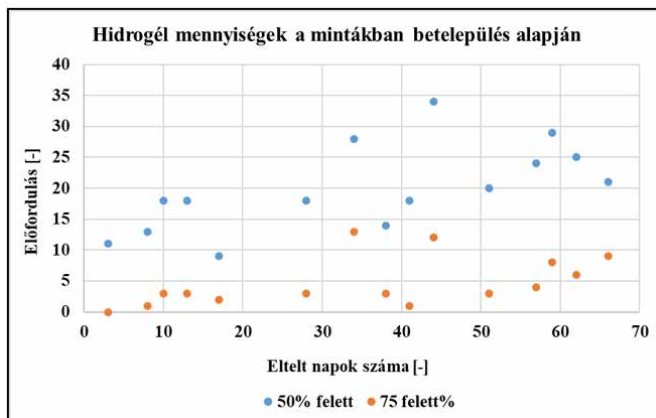
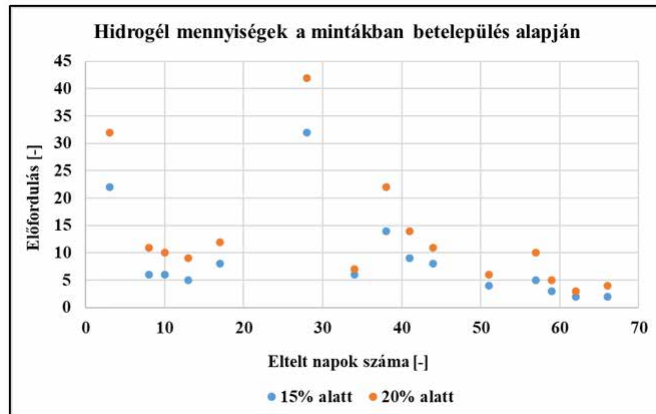
41. nap

6. ábra: Betelepülés eloszlásának változása konténerizált körülmények között (vastartalmú hidrogél)

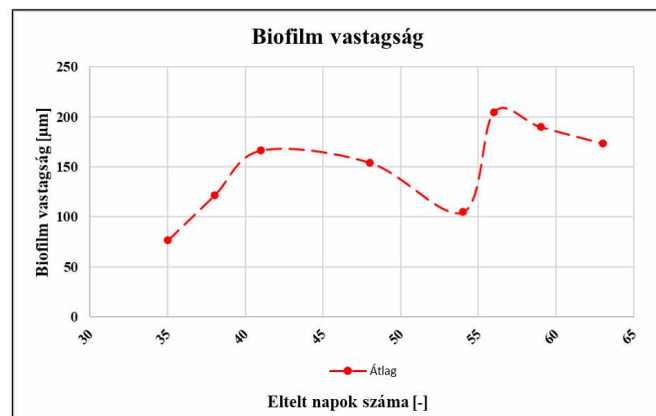
Az 5-6. ábrán látható az egyes hidrogélek számított felületének betelepülése %-os értékben a kísérlet indításától eltelt napok függvényében mind laboratóriumi, mind pedig ipari (konténerizált) léptékben. Jól látható, hogy nagy mértékű ingadozást, illetve széles eloszlást mutat már a kísérlet legelején, illetve a vége felé egyaránt. A 6. ábrán látható, hogyan változik a hidrogélek betelepültségének mértéke ipari körülmények között, vastartalmú hidrogélek esetében. A betelepülés mértéke gyorsabb, valamint jobb kihasználásra kerül a rendelkezésre álló felület. Ennek oka elsősorban a konténerizált technológiára vezetett szennyvíz összetételéből adódó vegyes kultúra szemben az autotróffal, ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy hasonlóak a trendek, tehát már a kísérletek elején vannak hidrogélek magas betelepültséggel (>50%), illetve jelentős idő elteltével is vannak olyan hordozók, melyeknek a betelepültsége 10% körül található. Mindkét situációban több hidrogél esetében előfordul 90% körüli betelepültség, ám ennek előfordulása alacsony, átlagosan 50-60% között ingadozik ez az érték, mely kis mértékben alulmarad a szakirodalmi adatokhoz képest.

A következő lépésben, hogy a tényleges biofilmet, illetve annak vastagságát tudjuk vizsgálni, meg kell határozni azt az értéket, mely fölött ténylegesen kimutatható a biofilm vastagodás az átmérő változáson keresztül. Ezen értékek mellé kell rendelni egy kontroll átmérőt, mely jellemzi a hidrogél biofilm nélküli átmérőjét, így a kettő különbsége kiadja a biofilm vastagságának kétszeresét. Ezen számításokhoz ugyanabban a reaktortérben lévő hidrogélek átmérőit alkalmaztuk, azzal a kikötéssel, hogy a rendelkezésre álló felület hány %-át foglalták el mikroorganizmusok. Ahhoz, hogy egy-egy betelepültségi %-os határértéket megvizsgáljunk, megnéztük, hogy hány minta tartozik az adott %-os egységhez.

A 7. ábrán látható, hogy 20% alatti betelepültséggel az esetek jelentős részében több hidrogél található, így statisztikailag ezen tartomány értékelése célravezetőbb. E mellett látható a betelepülés folyamata, egyre kisebb mennyiségben vannak jelen olyan hidrogélek, melyek betelepültsége ebben az alacsony tartományban mozog. A jobb oldali ábrán megfigyelhető, hogy 75% feletti betelepültség kevés hordozón alakult ki, ezzel szemben 50% feletti betelepültségű hordozók nagy (és a vizsgálat alatt növekvő) mennyiségben találhatóak. Ezek alapján számítható biofilm vastagság, melynek eredményeit a 8. ábrán ismertetünk.



7. ábra: Hidrogégék mennyisége a betelepültség függvényében

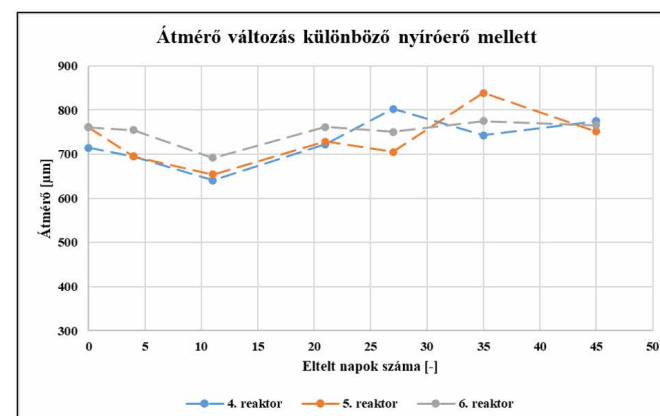


8. ábra: A számított biofilm vastagság

A 8. ábrán látható a számított biofilm vastagság az eltelt napok függvényében. A számítás során kivontuk az >50% betelepültségű hidrogégék átlag átmérőjéből a <20% betelepültségű hidrogégék átmérőjének átlagát. A számítások szerint a biofilm vastagsága 77-204 µm között változik, mely a szakirodalmi adatok felső, illetve alsó szélső értéke között mozog. Az adatokban jelentős ingadozás figyelhető meg, mindemellett a tendencia növekvő.

A betelepültség mértéke alapján történő biofilm vastagság számítása „jó” adatokat ad, ugyanakkor nagy az ingadozás az értékek között, akár pár nap leforgása alatt, valamint az egyes adatok megbízhatósága is eltér, hiszen vannak mérési napok, ahol 20-30 hidrogégél által alkotott átlaggal lehet számolni, viszont (elsősorban az alacsony betelepültség mellett) vannak esetek, ahol ez a szám csupán 4-5, valamint az alacsony betelepültség ellenére elképzelhető, hogy noha kis mértékben is, de a biológiai aktivitás befolyásolhatta ezen hidrogégék átmérőjét.

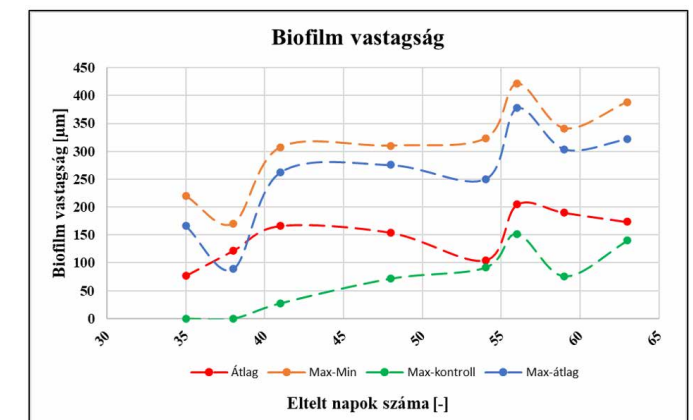
A fenti bizonytalanságok miatt laboratóriumi körülmények között is végeztünk kísérletet a konténerizált technológiában alkalmazott hordozókkal. A kísérletek során az egyes hidrogégék (hordozók) átmérőjének alakulásának követése volt a cél. Három reaktort indítottunk el különböző keverési intenzitással, biológiai aktivitás nélkül, majd nyomon követtük az átmérők változását. A kísérletek során választ kaptunk arra, hogy az egyes nyíróerők milyen (ha egyáltalán) hatással vannak a hordozóra, illetve történik-e szignifikáns átmérő változás. A 6-os reaktor esetében 330RPM (round per minute)-es, az 5-ösnél 220RPM, míg a 4-es reaktor esetében 150RPM keverési értéket állítottunk be.



9. ábra: Nyíróerő tesztés kontroll kísérletek

A 9. ábrán mutatjuk be a későbbiekben kontrollnak alkalmazott (biofilmes aktivitás nélküli) kísérleteket. Az ábráról két dolog olvasható le: hogy nincs különbség a különböző nyíróerő mellett végzett kísérletek között, illetve, hogy a hidrogégék átmérője nem változik, amennyiben a biológiai aktivitás nem szignifikáns a reaktorban.

Következő lépésként a kísérletből kapott kontroll értékeket vettük alapul a biofilm vastagság számítás esetében. Amennyiben a kontroll alkalmazása esetében továbbra is az 50% feletti betelepültségű hidrogégék átlag átmérővel dolgozunk, az értékek több esetben negatív, illetve 0 közeli értékeket vesznek fel. Ennek egyik oka lehet, hogy a biológiai aktivitás csekély hatására is csökken a hordozó átmérője. Másik lehetőség, hogy a biofilm vastagsága igen alacsony, így statisztikailag nehezen kimutatható az adott számokkal. Ebből a feltételezésből kiindulva az egyes hordozók maximális átmérőjével is elvégeztük a számításokat, azon alapulva, hogy ahol a legnagyobb az átmérő, várhatóan azokra a területekre telepedett a hidrogélen található biofilm.

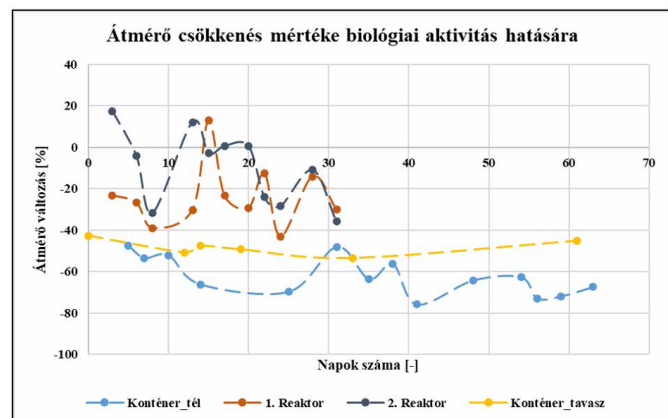


10. ábra: Biofilm vastagságok eltérő számítások alapján

Ezen a gondolatmeneten elindulva kiszámítottuk a >50% feletti betelepültségű hordozók maximum és a <20% betelepültségű hordozók minimum, illetve átlag átmérőjéből képezett biofilm vastagságot. Mellé tettük az eddigi számítás eredményeit (átlag) illetve a >50% maximum értékekből kivontuk a kontroll mintákat (10. ábra). Látható, hogy az eddigihez képest a maximum értékek bevonása növekedést eredményezett, míg a kontroll (maximum-kontroll) bevonása csökkenést. Meg kell jegyezni

azonban, hogy a legkonzisztensebb biofilm növekedést a kontroll bevonásával értük el.

A kontroll alkalmazása átlagos biofilm vastagságok esetében sok negatív eredményt adott, ezért szükségesnek éreztük megvizsgálni az alacsony betelepedettségű hidrogélek és a kontroll eredmény sor kapcsolatát. Ebben az esetben megvizsgáltunk kétféle hidrogélt laboratóriumi körülmények között, illetve a konténerizált technológiában alkalmazott hidrogéleket.

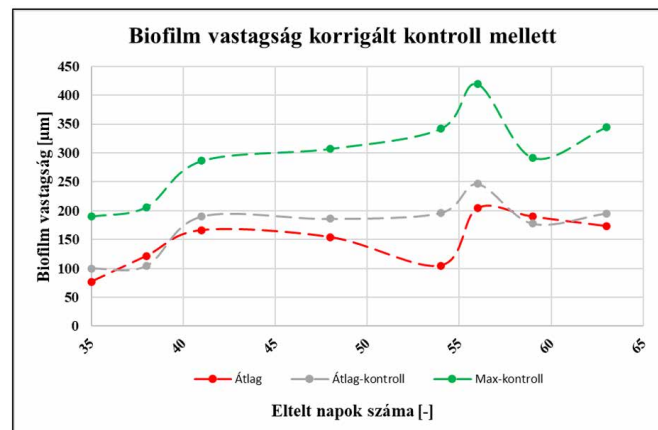


11. ábra: Átmérő csökkenés a hidrogélek esetében különböző körülmények között

A 11. ábrán látható esetekben a <20% betelepülésű, minimum értékekből vontuk ki az adott naphoz tartozó kontroll átmérőt. A számítás során így kiszűrtük azokat a hidrogéleket, amelyen jelentős biomasza található, így a tényleges hordozó méreteket vehettük alapul. A minimum értékekkel történő számolás azt a célt szolgálta, hogy kiszűrjük az esetleg kinyúló, fonalas részeket. Jól látható, hogy laboratóriumban az autotróf kultúra mellett is csökken a hidrogélek átmérője, de nem akkora mértékben, mint konténerizált körülmények között, ahol túlnyomórészt heterotróf kultúráról beszélhetünk. A jelenség magyarázata a hidrogélben található keményítő organizmusok által történő fogyasztása lehet. A csökkenés mértéke idővel lassul, majd elkezdi egy érték körül ingadozni, feltehetően ekkorra fogy el a keményítő, és a hidrogél nem bontható része marad.

Az így kapott eredmények alapján szükségszerű korrigálni a

konténerizált technológiában alkalmazott kontroll átmérőket, ha valós adatokat szeretnénk kapni a biofilm növekedését illetően. Ennek érdekében a kiszámolt csökkenés mértékével kiigazítottuk az egyes napokhoz tartozó kontroll értékeit, majd ezzel néztük meg az egyes eseteket, hogy melyik statisztikai paraméter milyen biofilm vastagság értékeket jelent.



12. ábra: Korrigált kontrollok mellett alakuló biofilm vastagság

A 12. ábrán látható az eredeti, >50% betelepülésű átlagos átmérőből a <20% betelepülésű átlagos átmérő kivonásából adódó érték (átlag) változása a vizsgálat alatt. E mellett megvizsgáltuk, hogy mekkora biofilm vastagság értékeket kapunk, ha a korrigált kontrollt kivonjuk a hidrogélek maximális és átlagos átmérőjéből. Utóbbi görbéken látható, hogy a maximum alkalmazása jelentősen nagyobb biofilm vastagságot eredményezett, mint a szakirodalmi adatok alapján lehetséges értékek, illetve az átlag alkalmazása (átlag-kontroll) egy hasonló trendet eredményezett, mint az eredeti számítási módszertanunk, ugyanakkor csökkentette annak bizonytalanságát és ingadozását.

A szakirodalmi adatokat, valamint a hidrogél átlagos átmérőjét figyelembe véve kijelenthető, hogy a korrigált kontrollal számolt, >50% betelepedettségű hidrogél hordozók átmérőinek átlagából képzett értékek adják jelenleg a legpontosabb számot a biofilm vastagságát illetően.

## FAJLAGOS FELÜLET MEGHATÁROZÁSÁNAK BEMUTATÁSA

Összesen 5 különböző térfogatban mértünk ki hidrogéleket az elemzés végrehajtásához. Az egyes térfogategységek, valamint a hozzájuk tartozó számlálási eredmények a **2. táblázatban** láthatóak.

Darab/ml	Térfogat [ml]	db/m <sup>3</sup>
16,11	250	24,41
16,06	250	24,36
16,01	250	24,30
15,45	200	23,96
15,59	200	24,11
15,58	200	24,10
15,30	150	24,10
15,27	150	24,08
15,33	150	24,13
15,21	100	24,42
15,26	100	24,48
14,62	50	24,52
14,68	50	24,58
14,64	50	24,54

2. táblázat: darab/m<sup>3</sup> és a hozzá szükséges értékek

A könnyebb átláthatóság érdekében a darabszámok természetes alapú logaritmusát alkalmaztuk (2. táblázat). Látható, hogy konzisztensen hozták az ismétlések ugyanazt a tartományt. Ezekhez az értékekhez hozzá kell társítani a hidrogélek mikroszkópos vizsgálataiból nyert átmérő értékeket, hogy kiszámíthassuk a fajlagos felületet. A fajlagos felület kiszámításához a laboratóriumban alkalmazott hidrogélek kontroll vizsgálatának átlagát használtuk fel. A számítások alapján a hidrogélek fajlagos felülete 63287 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk során a szakirodalmi információk alapján áttekintettük a biofilmes szennyvíztisztítás fejlődésének folyamatát, illetve elemeztük az egyes lépcsőfokokat annak függvényében, hogy a

technológia legfontosabb technológiai paraméterei hogyan alakulnak. Láthattuk, hogy a hagyományos mozgóágyas biofilmes rendszereknek kiterjedt a szakirodalma, különböző technológiai specifikációk léteznek, akár brossúrákon, akár cikkeken keresztül ezek publikus adatbázisokban elérhetőek. E mellett azonban bemutattuk a biofilmes szennyvíztisztítás fiatalabb, következő generációját, a mikroszkópikus méretű hordozóanyaggal felszerelt tisztítási eljárásokat. Ez az iparág jelenleg nem rendelkezik olyan részletes és egységes irodalmi háttérrel, mint hagyományos társai, éppen ezért minden kutatás fontos és értékes az új területek megismerése szempontjából. Ebbe a kategóriába sorolható a speciális mikrohordozót alkalmazó MICROBI technológia, melyben a hordozók mérete 293 µm és 1362 µm közé tehető. Mind a szakirodalmi kutatáson, mind pedig saját vizsgálataink alapján megállapítható, hogy ezek az új hordozók speciális kihívásokat rejtenek; új mérési módszerek, valamint vizsgálati szempontok szükségesek ahhoz, hogy ezen a téren is kiterjedt tudáshalmaz legyen elérhető. Jelen technológia esetében az elvégzett kísérletek, illetve számítások alapján fontos előrelépéseket tettünk a biofilm vastagság meghatározás terén. Meghatároztuk a biofilmes aktivitás, illetve a keverés hatását a hordozóra. Ezen vizsgálatok alapján pontosítani tudtuk az eddigi biofilm számítási módszerünket, melynek segítségével pontosan meghatározható a mindenkori biofilm vastagság a hordozón. Következő lépésként meghatároztuk a hidrogél hordozó fajlagos felületét, hogy összevethessük a szakirodalomban leírt paraméterekkel. Megállapítható, hogy a mikroszkópikus PVA alapú hidrogéljeink fajlagos felülete tekintetében a hagyományos hordozókéknál nagyságrenddel nagyobb, míg a betelepítési ráta enyhén alacsonyabb, a biofilm vastagsága viszont megegyezik a szakirodalomban optimálisnak nevezett értékekkel (100-200 µm).

## FELHASZNÁLT IRODALOM

1. IWA Task Group on Good Modelling Practice - Leiv Rieger, Sylvie Gillot, Guenter Langergraber, Takayuki Ohtsuki, Andy Shaw, Imre Takacs, Stefan Winkler (2012) *Guidelines for Using Activated Sludge Models*, IWA Publishing.
2. Vladimír Hlady and Jos Buijs (1996) Protein adsorption on solid surfaces, *Current Opinion in Biotechnology*, 10.1016/s0958-1669(96)80098-x
3. Kaplan, J.B., C. Ragunath, N. Ramasubbu and D.H. Fine, 2003. Detachment of *Actinobacillus actinomycetemcomitans* biofilm cells by an endogenous beta-hexosaminidase activity. *J. Bacteriol.*, 185: 4693-4698
4. <https://wapp.hu/technologiak/mozgoagyas-biofilmes-szennyviztisztitasi-technologiak-mbbr/>
5. Dong-chul Shin, Ji-suk Kim, Chul-hwi Park (2019) Study on physical and chemical characteristics of microorganism immobilized media for advanced wastewater treatment, *Journal of Water Process Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100784>
6. Hassan, C.M.; Peppas, N.A. Structure and applications of poly(vinyl alcohol) hydrogels produced by conventional crosslinking or by freezing/thawing methods. *Adv. Polym. Sci.* 2000, 153, 37-65.
7. Nan Hou, Ran Wang, Fan Wang, Jiahui Bai, Jingxin Zhou, \* Lexin Zhang, Jie Hu, Shufeng Liu, and Tifeng Jiao (2020) Fabrication of Hydrogels via Host-Guest Polymers as Highly Efficient Organic Dye Adsorbents for Wastewater Treatment, *ACS Omega* 2020 5 (10), 5470-5479 DOI: 10.1021/acsomega.0c00076
8. Kuo-Cheng Chen, Shih-Chang Lee, Sheng-Chi Chin, and Jer-Yiing Hwang (1998) Simultaneous carbon-nitrogen removal in wastewater using phosphorylated PVA-immobilized microorganisms, *Enzyme and Microbial Technology* 23:311-320
9. Hoang, V. -Delatolla, R. - Abujamel, T. - Mottawea, W. - Gadbois, A. - Laflamme, E. - Stintzi, A.: Nitrifying moving bed biofilm reactor (MBBR) biofilm and biomass response to long term exposure to 1 °C. *Water Research* 49 (2014) 215-224. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.11.0>
10. Arabgol, R. - Vanrolleghem, P. A. - Delatolla, R.: Influence of MBBR carrier geometrical properties and biofilm thickness restraint on biofilm properties, effluent particle size distribution, settling velocity distribution, and settling behaviour. *Journal of Environmental Sciences* 122 (2022) 138-149.
11. Bjornberg, C. - Dr. Lin, W. - Dr. Zimmerman, R.: Effect of Temperature on Biofilm Growth Dynamics and Nitrification Kinetics in a Full-Scale MBBR System. *Water Environmental Federation* 2009, 4407- 4426.
12. Torresi, E. - S. Fowler, J. - Polesel, F. - Bester, K. - R. Andersen, H. - F. Smets, B. - Gy Plosz, B. - Christensson, M.: Biofilm thickness influences biodiversity in nitrifying MBBRs – Implications on micropollutant removal. *Environmental Sciences & Technology* 2016, 1-30. DOI: 10.1021/acs.est.6b02007
13. Barwal, A. - Chaudhary, R.: To study the performance of biocarriers in moving bed biofilm reactor (MBBR) technology and kinetics of biofilm for retrofitting the existing aerobic treatment systems: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 13/3 (2014) 285-299. DOI 10.1007/s11157-014-9333-7
14. Riham Surkatti, Mark C. M. van Loosdrecht, Ibelwaleed A. Hussein and Muftah H. El-Naas (2024) PVA-TiO2 Nanocomposite Hydrogel as Immobilization Carrier for Gas-to-Liquid Wastewater Treatment, <https://doi.org/10.3390/nano14030249>
15. Yibo Wang, Yonghong Liu, Minquan Feng and Lina Wang (2017) Study of the treatment of domestic sewage using PVA gel beads as a biomass carrier, doi: 10.2166/wrd.2017.181
16. Stephany P. Wei, Bao Nguyen Quoc, Madelyn Shapiro, Pin Hsuan Chang, Jason Calhoun, Mari K.H. Winkler (2021) Application of aerobic kenaf granules for biological nutrient removal in a full-scale continuous flow activated sludge system, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129522>
17. Förstner, U. (1993) *Környezetvédelmi technika, Szennyvíz*, Springer Hungarica, pp. 155-156.
18. Vladimír Hlady és Jos Buijs (1996) Protein adsorption on solid surfaces, *Analytical Biotechnology*
19. Husham Ibrahim (2012) *Review on Moving Bed Biofilm Processes*, DOI: 10.3923/pjn.2012.804.811
20. Metcalf & Eddy (2003) *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th Edition, McGraw-Hill, New York
21. Vibeke Ramussen, Kaldnes Miljøteknologi AS (2011) *The Kaldnes Moving Bed biofilm process – an innovative solution to biological waste water treatment*, Postboks 2011, N-3103 Norway
22. <https://www.bio-fil.es/facilities/moving-bed/design-considerations-mbbr/>
23. <https://www.hel-x.eu/en/home-christian-stoehr-gmbh-co/>
24. <https://www.mutag.com>
25. <https://nexom.com/bioports-mbbr/>
26. <https://www.ssaeration.com/ssi-mbbr-landing-page/>
27. <https://www.ztsmallboss.com/product/category/mbbr-bio-media>

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00118 számú projekt eredményire épül. A projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a 2019-1.1.1-PIACI KFI pályázati program (PIACVEZÉRELT KUTATÁS-FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS PROJEKTEK) finanszírozásában valósult meg.

Készült a Kooperatív Doktori Program (KDP) keretein belül, a Kulturális és Innovációs Minisztérium, valamint a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatásával.



**FARKASNÉ BODOR MÓNIKA**  
**BAKONYKARSZT Zrt.**  
 csatornaszolgáltatási üzemvezető

[bodor.monika@bakonykarsztrt.hu](mailto:bodor.monika@bakonykarsztrt.hu)

**KIVONAT:** A biológiai foszforeltávolítás igen elterjed művelet a kommunális szennyvízkezelés során, azonban komoly technológiai problémával jár.

A dolgozat első részében összefoglaltam a kommunális szennyvízkezelés során alkalmazható módszereket a foszforeltávolításra. Összehasonlítottam a különböző módszerek előnyeit és hátrányait. Megfogalmaztam miként alakulhat ki a problémát okozó struvit.

A kísérleti részében meghatároztam a Veszprémi Szennyvíztisztító telep foszformérlegét. Ezzel bizonyítottam a biológiai foszforeltávolítás meglétét és megfigyeltem annak menetét. A foszformérleg segítségével közelítő becslést adtam a keletkező struvit mennyiségére.

Összegyűjtöttem, hogy különböző módszerekkel miként lehetne a kristálykiválást megszüntetni.

**KULCSSZAVAK:** szennyvízkezelés, összes foszfor, biológiai foszforeltávolítás, mezofil rothasztás, mineralizáció, struvit

## SZOLGÁLTATÓK SZEMÉVEL

# Anaerob foszfor mineralizáció vizsgálata a kommunális szennyvízkezelés során

## BEVEZETÉS

A szennyvíztisztítás a mindennapi életszínvonalunk megőrzésének elengedhetetlen és szükséges része. Fő célja, hogy védje ivóvízbázisainkat és élővizeinket. Feladata, hogy megfelelő minőségű tisztított szennyvizet bocsásson a befogadóba.

A kommunális szennyvízkezelés során az egyik fő lépés a befolyó szennyvíz nitrogén- és foszfortartalmának csökkentése. A befogadóba kerülve a feldúsult tápanyagtartalom elősegíti az elsődleges termelő szervezetek (fitoplanktonok, mocsári növények, algák) elszaporodását. Az algák és az azokat hasznosító baktériumok oxigén felhasználása növekedhet, mely a vízben oxigénhiányos állapotot idézhet elő. Ez könnyedén alga- és iszapberohadást eredményezhet, mely kénhidrogén fejlődéssel járhat. Az eutrofizáció veszélye főként a zárt víztesteknél és az óceánoknál jelentős. [1, 2]

A bekerült foszfortartalom nagy részét az emberi és állati kibocsátás, a mosó- és tisztítószer használata, valamint a talajból kimosódott műtrágya adja. A terhelést az ipari szennyvizek, főként a korrózióvédő- és a vízkezelésből származó anyagok tovább növelik. [3]

A szennyvízkezelés során a foszfor jelentős része a szennyvíziszapba kerül, melynek közvetlen tápanyagként történő felhasználása a benne lévő szennyező komponensek (nehézfémek és patogének) miatt egyelőre nem lehetséges. További feldolgozására viszont egyre több kísérlet születik a gyorsan apadó foszfátkészletek miatt. Napjainkban ezek a technológiák még kísérleti jellegűek, elterjedésüket a túlzott beruházási költség korlátozza.

## 1. A foszfortartalom eltávolítása

A foszfor eltávolítására alkalmas technológiák kifejlesztése az 1950-es években kezdődött meg a fent említett eutrofizációs probléma kezelésére. Annak érdekében, hogy a befogadóba a probléma elkerülhető legyen 90% feletti hatékonyságot kellene biztosítani a foszfor eltávolításánál (Schaak és társai, 1985). Ennek a többletfoszfornak az eltávolítása kémiai és biológiai úton egyaránt lehetséges. [1, 4]

### 1.1 KÉMIAI FOSZFORELTÁVOLÍTÁS

A foszfortöbblet eltávolításának egyik lehetséges módja a vegyszerrel történő kicsapás. A módszer többféle vegyszer alkalmazásával is használható.

A leginkább elterjedt módszer szerint két- vagy háromértékű fémsót adnak a szennyvízhez, mely oldhatatlan csapadékot képez a foszfát ionokkal. A keletkezett csapadék ülepítéssel könnyedén eltávolítható. Gazdasági- és technológiai szempontból a vas(III)- illetve alumínium-sók (kloridok vagy szulfátok) alkalmazása a leginkább kedvező. [2, 5, 6]

A fiziokémiai eltávolítási folyamatok fő hátránya a vegyi anyagok költsége és a hatalmas iszaptermelés. A hozamnövekedés miatt a megnövelt fölösiszap elvétel az iszapkor csökkenésével járhat együtt. Ennek eredménye, hogy a folyamatban résztvevő nitrifikáló kemolitotróf baktériumok a biomaszából kimosódnak, így a nitrifikáció határfoka kedvezőtlenül csökken. A levegőztetett iszapkor megfelelő értéken (8-10 nap) tartása elengedhetetlen szempont. Eredményképp az iszap tartózkodási idejét meg kell

növelni, mely a reaktortérfogat- vagy az iszapkoncentráció (iszapkor) növelésével lehetséges. [7]

## 1.2 BIOLÓGIAI TÖBBLETFOSZFOR ELTÁVOLÍTÁSA

A biológiai foszforeltávolítás témakörében az első publikációk 1955-ben jelentek meg, ahol megállapították, hogy bizonyos körülmények között, feltehetően a levegőztetés intenzitásának eltérései alapján, az eleveniszap jelentős mennyiségű foszfort képes megkötni a szennyvízből. (Greenber és társai, 1955; Levin és társai, 1955; Srinath és társai, 1959; Alarcon, 1961).

Az aerob foszforfelvétel és anaerob leadás pontosítását követően a biológiai többletfoszfor eltávolítása alkalmazható technológiává vált az eleveniszapos rendszereknél. Napjainkban a biológiai többletfoszfor eltávolítás főként a nagy lakosságot kiszolgáló üzemek esetén elterjedt és alkalmazott eljárás. Pontos mechanizmusa azonban ma sem tisztázott, az eljárás alapjai viszont ismert lépések. [4, 8]

Váltakozó anaerob és aerob körülmények között a foszfort akkumuláló baktériumok elszaporodnak a biológiai reaktorban lévő iszapban. A foszfor felvétele aerob körülmények között, míg a foszfor leadása, visszaoldódása anaerob körülmények között játszódik le. A ciklusságnak köszönhetően a folyamat újra játszódik, az aerob szakaszban a foszfát újra felvételre kerül. Az újbóli felvétel mértéke nagyobb, mint az anaerob fázisban történt visszaoldódás. Ennek köszönhetően a foszfor az eleven iszapban koncentrálnodik. [1, 4, 5, 8]

A többletfoszfor biológiai eltávolítása a foszforban gazdag, úgynevezett fölösiszap elvételével jelentősen növelhető. A megfelelő technológiai paraméterek beállításával az iszap a foszfor terhelés jelentős részét felveszi, így a vegyszeres foszforeltávolítás elhagyható. [4, 5, 9]

A határfokot befolyásolja a szennyvíz eredeti foszfortartalma, a nitrát tartalom, a szennyvíz egyéb komponenseinek összetétele, valamint a lebontást végző baktériumok fajtája is. Az aerob környezetbe iktatott anaerob zóna a biológiai többletfoszfor eltávolítás alapfeltétele. Az anaerob zónában foszfor leadás és ezzel egyidejűleg az energiatartalékokat biztosító tápanyag szintézis történik meg. A betárolt tápanyag mennyisége meghatározza a következő aerob ciklusban történő foszfát-felvételét és polifoszfát

betárolását.

A biológiai módszerek fő hátránya, hogy erősen függnek a szennyvíz összetételétől, így kevésbé stabilak. A kémiai eltávolításhoz képest kevesebb mennyiségű iszapot termelnek, de az ily módon eltávolított foszfor az iszapkezelés során felszabadulhat. Ortofoszfátból ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), magnéziumból ( $\text{Mg}^{2+}$ ) és mono- vagy kétértékű ionokból ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) kristályképződés tapasztalható. A legstabilabb és egyben a leggyakoribb forma a magnézium-ammónium-foszfát-hexahidrát  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (MAP). Triviális nevén a struvit, a szennyvíztisztító telepeken és az iszapkezelő létesítményekben problematikus vegyületté vált, mely súlyos lerakódásokat okozhat az anaerob emésztő-rendszerben. [2]

## 2. A Veszprém Városi Szennyvíztisztító Telep

A Veszprém Városi Szennyvíztisztító telep két külön tisztító sorral rendelkezik, ennek megfelelően megkülönböztetjük az 1998-ban átadásra került 12000 m<sup>3</sup> kapacitású I. biológiai tisztító egységet, valamint a korábban meglévő, 2004-ben rekonstrukció alá vont és átalakított 9000 m<sup>3</sup> kapacitású II. biológiai tisztító egységet. A két tisztítósor külön elő- és utóülepítővel rendelkezik, a sorok terhelése változtatható, de általában fele-fele terheléssel működnek. [10, 11]

2010-ig a foszforeltávolítás kizárólag kémiai úton történt. Ezt kb. havi 45 m<sup>3</sup> vas(II)-, vas(III)- és alumínium sókat tartalmazó keverék adagolásával érték el. A feleslegben adagolt vas-só egy része az elfolyó foszfor mennyiségét tartósan a mérési határ alatt tartotta. Az el nem reagált vas-só az iszapfázisban maradvá bekerült az anaerob iszaprothasztó műtárgyakba, ahol a kén-hidrogénnel reakcióba lépett, így korlátozva a keletkező biogáz H<sub>2</sub>S tartalmát. Az ide bekerült vas(III) emellett alkalmas volt arra is, hogy visszaszorítsa az iszaptól víz fázisba oldódó foszfor mennyiségét. Ebben az időszakban struvitkiválás egyáltalán nem volt tapasztalható, azonban az eljárás módfelett költségesnek bizonyult.

2010-től az üzemeltető a dráguló alapanyagok miatt csökkenteni kezdte az adagolt vegyszer felhasználási mértékét. Ezzel együttesen természetesen leállt a rothasztóba kerülő vas mennyisége is, így a rothasztóban keletkező biogáz kén-hidrogén tartalma növekedni kezdett. Ez a kén-hidrogén pedig a bekerülő vas-fosz-

fát csapadékot fokozatosan képes volt felbontani, így a foszfát elkezdett visszaoldódni az iszapvízbe. Ebben az időszakban a keletkező biomasszában lévő heterotróf élő szervezetek, melyek a foszforeltávolítást végzik, kevésbé voltak életképesek. A vas-só adagolás az elfolyó szennyvíz foszfortartalmának függvényeként időszakosan történt.

2015 szeptemberében az energiaigény és az üzemeltetési költség csökkentésének érdekében kísérlet indult a biomassza mikrobiológiai összetételének megváltoztatására. A közel négy éves kezelés eredményeképp a biológiai többletfoszfor eltávolítás mikroorganizmusai jelentős túlsúlyra tettek szert és ezzel a kémiai foszforeltávolítás szükségtelessé vált. Ez azonban a fentebb említett struvit megjelenését eredményezte. (1-es és 2-es ábra). [7, 11, 12]



1. ábra: Lerakódás egy csővezetékben



2. ábra: Struvit kiválás járókeréken

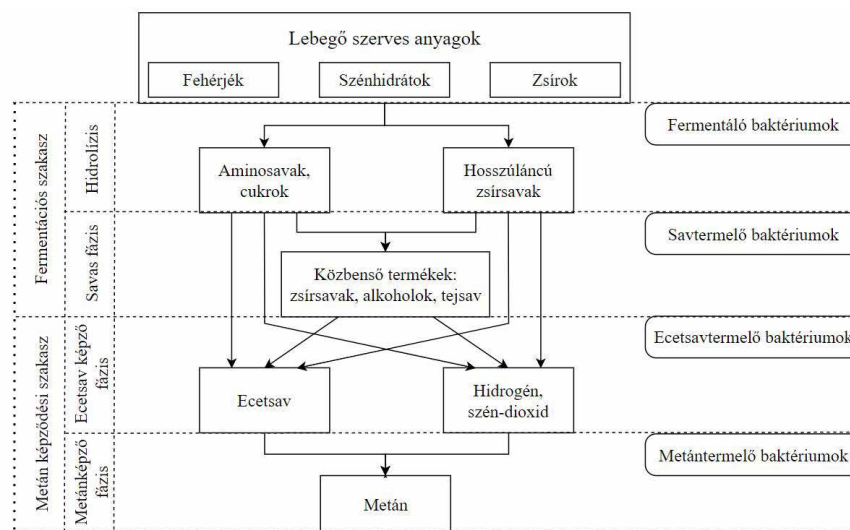
A probléma pontos definiálásához és a kristályok keletkezésének megértéséhez az iszapkezelés és az anaerob rothasztás folyamatainak tisztázása elengedhetetlen.

### 3. Anaerob iszaprothasztás

Az anaerob rothasztás négy alapvető részfolyamatból álló szabályozott technológia. A folyamat során ennek megfelelően négy alapvető baktériumcsoport együttese végzi a lebontást oxigén jelenléte nélkül.

A hidrolízist végző fermentáló baktériumok a nagy molekulájú, komplex szerves anyagokat kisebb vegyületekre bontják. Ez a folyamatindító lépés, mely során elősként a szerves lebegőanyagból fehérjék, szénhidrátok és lipid frakciók keletkeznek, melyek tovább hidrolizálnak és még kisebb molekulájú termékek (aminosavak, zsírsavak, monoszacharidok) bomlanak. A savtermelő baktériumok a szénhidrátokat és az aminosavakat képesek szerves savakká (ecetsav, propionsav, hangyasav stb), alkoholokká,

ketonokká, szén-dioxiddá és hidrogénné bontani. Ez a második lépés, melyet acidogenezisnek is nevezhetünk. Az első két lépés együttese a fermentációs szakasz. Az acetogenezis szakaszában az ecetsavtermelő baktériumok az alkoholokat és zsírsavakat bontják tovább ecetsavvá, hidrogénné, valamint szén-dioxiddá. Végül a metántermelő baktériumok ezeket a termékeket tovább hasznosítva képesek a metán termelésére (metanogenezis). A metántermelő baktériumok szaporodása lassú, mert nagy generációs idővel rendelkeznek (35°C-on 2 nap; 10°C-on 50 nap). A folyamat utolsó szakaszában így előáll a metán és szén-dioxid keveréke, a biogáz. (3. ábra). [9, 10, 12, 13]



3. ábra: Az anaerob iszaprothasztás lejátszódó folyamatai

### 4. Iszapkezelés

A technológiai sorban az elsődlegesen hasznosítható melléktermék a primer iszap (nyersiszap). Ez magas energiatartalmú, nehezen bontható, erősen redukált alkotókból (zsírok, fehérjék) áll. A nyersiszap jellemzően savas kémhatású, oxigént csak kötött formában, főleg foszfátokban tárolva tartalmaz. Szárazanyag tartalma több mint 2 (m/m)%. A szálanyag mentes nyers iszapot a pálcás sűrítőben korábban gravitációsan víztelenítették.

A másodlagosan hasznosítható technológiai iszap a szekunder iszap (főlösiszap), ami jellemzően alacsonyabb energiatartalmú,

benne főleg aktív biomassza és elhalt mikroorganizmusok találhatóak. Jellemzője az enyhén lúgos vagy semleges kémhatás. Oxigént főleg nitrátok formájában tartalmaz, szárazanyag tartalma 0,8–1,2 (m/m)%. A főlösiszap biztosítja a rothasztásban résztvevő baktériumok zömét és a legfontosabb biogén elemeket. A nagykörös recirkulációs áramból elvett főlösiszap víztelenítése szalagsűrítőn történik, az így elérhető gépi sűrített főlösiszap szárazanyag tartalma 4-5 (m/m)% körül alakul.

2010-ben az iszapkezelés intenzifikálását célzó beruházásban létrejött víztelenített- és folyékony iszapfogadó állomással lehetőség nyílt a külső telephelyekről származó gépi sűrített vagy

centrifugált iszapok, valamint az egyéb folyékony hulladékok (tejipari zsíriszap) fogadására. Mivel a primer iszap sűrítésének hatása nem volt jelentős, ezért napjainkban a pálcás sűrítő berendezést tejipari hulladék fogadóként alkalmazzuk, így tovább optimalizálva a rothasztó biogáz termelését.

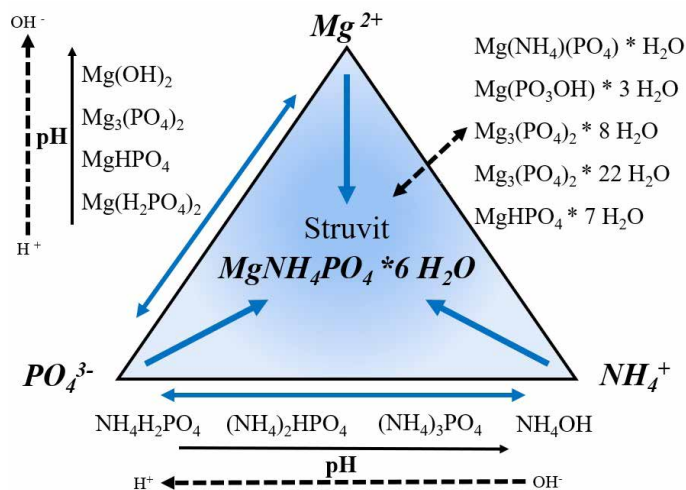
A beszállított melléktermékeket az előbbieken ismertetett technológiai iszapok homogenizált, temperált elegyibe oldva kezeljük. Az ilyen módon előállított, rothasztóra naponta feladott 190-210 m<sup>3</sup> kevert iszap energia- és szárazanyag tartalma javítja a szervesanyag konverzió hatásfokát, növelve ezzel a biogáz kizozatalát. [10]

A Veszprém Városi Szennyvíztisztító telepen az összesen 3500 m<sup>3</sup> osztérfogatú (2 db 1000 m<sup>3</sup>-es, valamint egy 1500 m<sup>3</sup>-es párhuzamosan kapcsolt) mezofil rothasztóban lejátszódó iszapfermentáció eredményeként naponta keletkező 2500-2800 m<sup>3</sup> biogáz hasznosítását kondenzációs kazánokkal, valamint gázmotorokkal végezzük. [10, 14, 15]

A fermentáció során keletkező iszapot 90 m<sup>3</sup>-es folyamatosan kevert kigázosító medencében gyűjtjük és ülepítőcentrifugával víztelenítjük. Az így elérhető 18-21 (m/m)%-os szárazanyag tartalmú víztelenített iszap SOLAR szárítóban további víztelenítésre kerül. A keletkezett csurgalékvizeket a technológia elejére vezetjük vissza. [14, 15]

## 5. Struvit képződés folyamata

A struvit (MAP) - mint már korábban is említettem - ortofoszfátból ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), magnéziumból ( $\text{Mg}^{2+}$ ) és mono- vagy kétértékű ionokból (legfőképp  $\text{NH}_4^+$ ) áll össze. A magnézium a nyers víz közel állandó magnézium tartalmából, a foszfát élelmiszerekből, illetve mosó- és tisztító szerekből kerül a rendszerbe. Az ammónium-ion ( $\text{NH}_4^+$ ) a zsírok és fehérjék bomlásának melléktermékeként képződik. A kristályok keletkezése az iszaprothasztóban zajlik. A foszfor és a magnézium jelentős része a biológiai foszforeltávolítás során a fölősiszapba, azzal pedig a rothasztóba kerül. A fölősiszap hidrolízisekor a foszfor és magnézium szinte teljes mennyisége visszaoldódik, majd az ugyanott felszabaduló ammóniával mikrokristályokat alkot. Ez az első magképződési vagy nukleációs lépés. A képződési folyamatot a 4. ábra szemlélteti. [12, 16, 17]



4. ábra: Struvit képződés

Ezt követi a növekedési szakasz. A kristálynövekedés egy diffúziós és integrációs folyamat. A kristálynövekedés két fő lépésben megy végbe. Elsőként tömeg transzport indul az oldatból a kristályfelületre diffúzióval, konvekcióval vagy mindkét mechanizmus kombinációjával. Ezután megtörténik az anyag beépülése a kristályszerkezetbe felületintegráció útján (felszíni reakcióval). A teljes folyamat függ a pH-tól, a túltelítettség mértékétől, a hőmérséklettől, valamint a kompetitív ionok jelenlététől. [17]

## 6. Kísérleti rész

A kísérleti rész során az egyik cél az volt, hogy közelítő becslést határozzak meg a keletkező struvit mennyiségéről. Ehhez elsőként a szennyvíztisztító telep foszformérlegét határoztam meg.

A BAKONYKARSZT Zrt. Központi Laboratóriumában a szennyvízből történő foszfát és összes foszfor tartalom akkreditált módon meghatározható. Szennyvíziszap teljesfoszfor tartalom meghatározására több szabványos módszer is alkalmazható, de a laboratóriumban ezek nem akkreditált módszerek. Az általam végzett kísérlet során az MSZ 318-19:1981 és az MSZ EN 14672:2006 szerinti vizsgálatokat vettem alapul a szennyvíziszap foszfortartalmának méréséhez. A vizsgálatok alatt azt tapasztaltam, hogy a magas nedvességtartalommal rendelkező iszapok teljes foszfor tartalma megfelelő hígításban a szennyvíz mátrixra kifejlesztett szabvány alkalmazásával is jól meghatározható. A homogénizált és a nyers iszap minták vizsgálata során csak az iszap mátrixra kifejlesztett módszer volt alkalmazható.

A minták mérésekor azt vizsgáltam, hogyan oszlik meg a teljes foszfortartalom az iszapszemcsékben és a körülötte lévő vizes fázis között. A meghatározáshoz a fázisok elválasztását vákuumszűrőssel végeztem. A vizes fázisból az oldott orto-foszfát tartalom is meghatározásra került. A mérések azt mutatták, hogy a szennyvíziszapok vizes fázisának az összes foszfor tartalmát szinte kizárólag orto-foszfát adja. A foszforformák összefüggését az 5. ábra szemlélteti, mely az MSZ 12750-17:1974 szabványban is megtalálható.

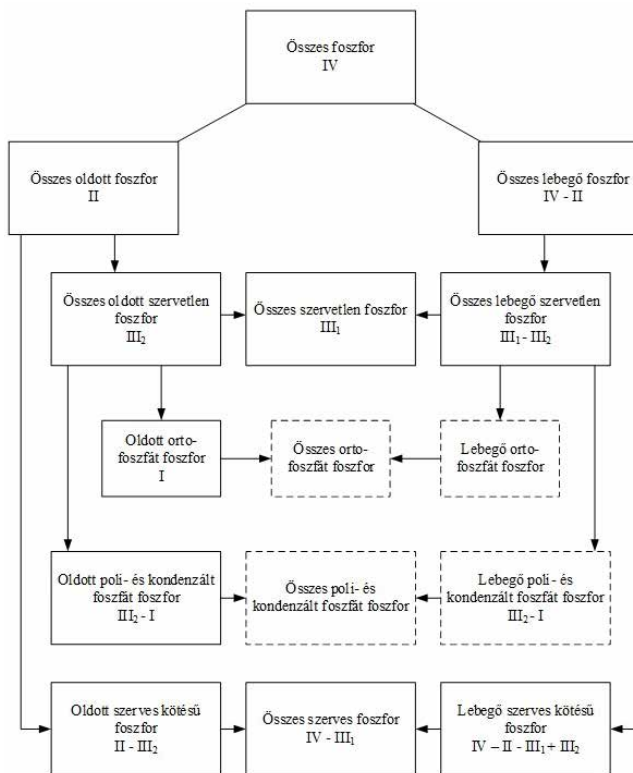
A szabványnak ezen része a szennyvíz mátrixra vonatkozik, de az általam elvégzett vizsgálatokból azt tapasztaltam, hogy a szennyvíziszap esetén is alkalmazható az összefüggés.

### 6.1 A MÉRÉSI PONTOK ÉS A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÁTLAGA

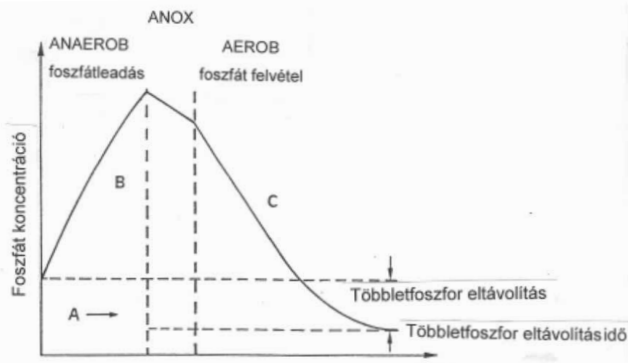
A szennyvíztisztítási technológia két fő útvonalra, vízvonlagra és iszapvonlagra bontható. A vízdalhoz a befolyó szennyvíz, az iszapvíztelenítésből származó és a technológia elejére visszavezetett csurgalékvíz; az I-es előülepítőből származó szennyvíz, az anaerob, az anoxikus és az aerob medence szennyvíziszap mintái, valamint az I-es utóülepítő már tisztított szennyvíze tartozik. Az iszapvonalon a nyersiszap, a fölősiszap, a homogénizált- és a kigázósított iszapok foszfor tartalmát mértem.

A vizsgálatokat 2022. január 01-je és 2022. március 31-e között végeztem. Ebben az időablakban az iszapminták esetén 6 mintát tudtam teljes mértékben feldolgozni. A szennyvíz mátrixra vonatkozóan jóval több mintát sikerült feldolgozni, mivel a szennyvíztisztító telep maradéktalan működéséhez a telep folyamatos monitoringozása elengedhetetlen feladat.

Az átlagolt eredmények ábrázolásával látható, hogy a váltakozó körülmények szerint hogyan működnek a szennyvíziszapban lévő foszfort akumuláló fonalas szervezetek; mikor veszik fel, illetve adják le foszfortartalmukat. Az elméleti vízfázisbeli foszforeltávolítás ciklikusságát, anaerob foszfor leadását, valamint anoxikus és oxikus felvételét a 6. ábra szemlélteti, ahol A a befolyó szennyvíz foszforkoncentrációját, B az anaerob szakaszban kialakult foszforkoncentrációt, valamint C az aerob körülmények közötti foszforfelvételt szemlélteti.

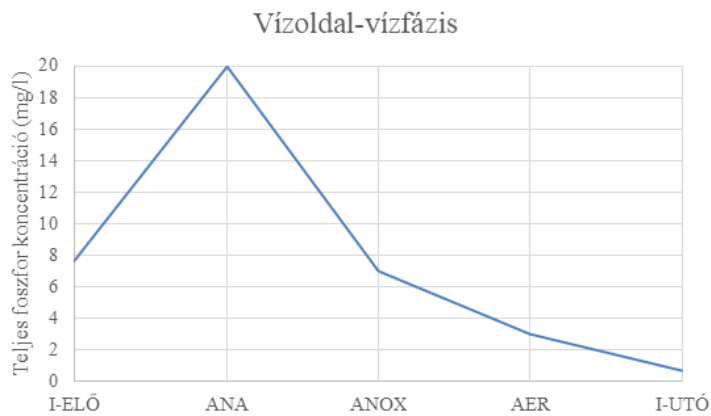


5. ábra: Foszforformák összefüggései



6. ábra: A foszforeltávolítás ciklikussága [2]

Ehhez képest a gyakorlatban különböző pontokon mért foszfor koncentrációkat a 7. ábra szemlélteti. Elsőként a vízdali foszfor



7. ábra: A biológiai foszforeltávolítás bizonyítása

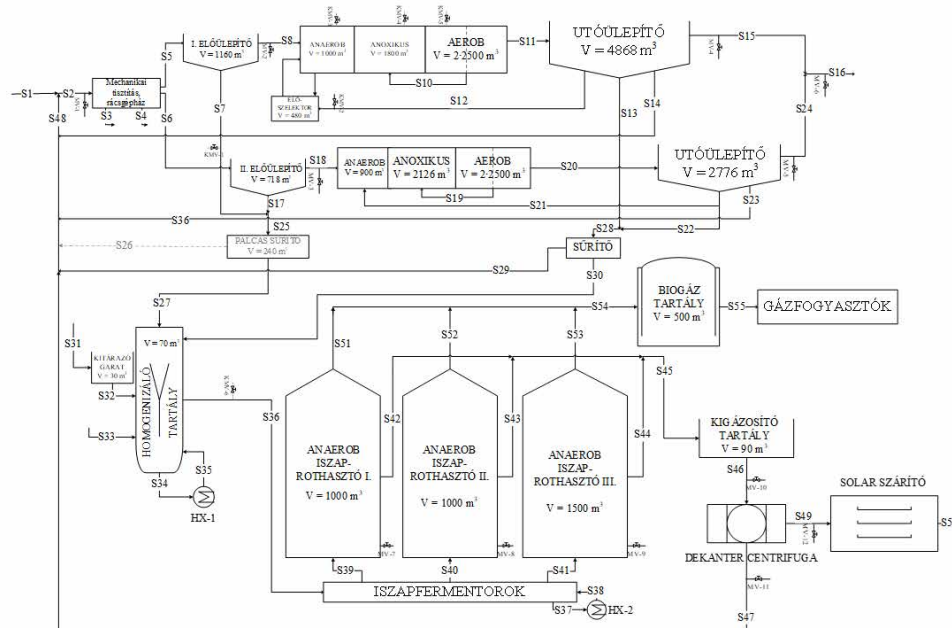
Az ábrázolás esetén a befolyó szennyvíz helyett az I. előülepítő szennyvizét ábrázoltam. A befolyó és az I-es előülepítő foszfortartalma közötti különbséget a nyersiszap viszi el. A vízvonalon így a továbbiakban az I-es előülepítőről elfolyó víz foszfortartalmát kell lecsökkenteni. Az anaerob, anoxikus és aerob medencékben azt szükséges vizsgálni, hogy az iszapfázisban lévő foszfort akkumuláló szervezetek a vízfázisban valóban leadják, majd ennél jóval többet felvesznek a bekerült foszforból. Az elméleti és a

gyakorlati görbe közötti lényeges különbség az, hogy az anoxikus zónában sokkal gyorsabban történik a foszforfelvétel, mint azt az elméletből vártuk. Ez további kérdéseket vet fel, ami már a nitrifikációs folyamatokhoz köthető. Az iszapfázis vizsgálatával jól megfigyelhető volt a foszfortartalom feldúsulása is. Itt a koncentrációkat tekintve nem akkora az eltérés, mint a vízfázisban, de a folyamat itt is kimutatható volt.

### 6.2 A TECHNOLÓGIA ANYAGMÉRLEGE

Az anyagmérleg felállításához szükség volt a vizsgálat idejére vonatkozó napi térfogatáramokra. Ezeknek az adatoknak az átlagolt értékével számítottam ki az áramló foszformennyiségeket.

A foszfortartalom vizsgálatára vonatkozó méréseket az I. biológiai tisztítóegységre vonatkozóan vizsgáltam. A II. biológiai egységben azt feltételeztem, hogy hasonló koncentrációk vannak, mint az I. biológiai tisztító egységben. A kísérlet alatt a pálcás sűrítő berendezés nem üzemelt, az elvett nyersiszap szálanyag mentesítés után a homogenizálóra került feladásra. A vizsgálat szempontjából fontos berendezéseket és anyagáramokat a 8. ábra szemlélteti.



8. ábra: A Veszprémi Szennyvíztisztító telep technológiai ábrája

Elsőként a vízdali foszformérleget számítottam ki. Ebből kiderül, hogy az iszappal elvételre került összes foszfor mennyisége 122 kg/d.

A rothasztóra feladott (S36) és onnan elvételre került, majd kigázósított iszap (S46) foszfortartalmainak különbsége az, ami struvitként csapódik le a rendszerben. Ebből a különbségből meghatározható a keletkező struvit mennyisége, valamint az, hogy mennyi foszfor az, amit kémiai úton kellene eltávolítani a rendszerből. A vizsgálat eredményei szerint 36 kg/d foszfor rakódik le a rendszerben.

Ez a megállapítás csak egy közelítő értéket ad meg. Ahhoz, hogy pontosabb értéket tudjunk megadni a méréseket legalább egy egy éves időablakban kellene elvégezni. Abban az esetben az is megfigyelhető volna, hogy például az évszakok és a vízhasználat, s ezáltal a bekerült szennyvíz mennyisége hogyan változik, befolyásolja-e a struvit mennyiségét.

### 6.3 A KELETKEZŐ STRUVIT MENNYISÉGÉNEK SZÁMÍTÁSA

A rothasztóra feladott iszapban lévő fonalasok anaerob körülmények között elkezdik leadni foszfortartalmukat a vízfázisba

egészen addig, amíg el nem pusztulnak. A mérések során kimutatható volt, hogy a vízfázisba került foszfor legtöbb esetben orto-foszfátként van jelen. Feltételezhető akkor, hogy ez a rothasztó vízfázisára is igaz. Így feltételezően a különbségeként megkapott foszfortartalom teljes egészében orto-foszfátként van jelen.

A sejtmembrán az anaerob körülmények között nem szakad fel, így a bekerült foszfor egy része kötött állapotban az iszapfázisban marad.

Abban az esetben, ha a teljes rendszerben maradó foszforról feltételezem, hogy struvittá alakul, akkor ez 284 kg/d struvit keletkezését jelenti. Ennek mértéke nagyon tűnhet, azonban ha figyelembe veszem, hogy ez mekkora

térfogaton oszlik meg, illetve mekkora feladott iszapmennyiségben keveredik el, úgy a lerakódási tapasztalatokat tekintve nem teljesen valótlán adat. Természetesen az is közrejátszik, hogy a kiszámított 36 kg/d-os lerakódó foszforból valójában nem teljes egészében csak struvit, hanem egyéb ortofoszfátból ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), magnéziumból ( $\text{Mg}^{2+}$ ) és mono- vagy kétértékű ionokból (legfőképp  $\text{NH}_4^+$ ) összeálló kristályos szerkezetű vegyület is képződhet, melynek molekula tömege nem feltétlenül olyan magas, mint a struvit esetében.

A rothasztóra feladott iszappal összevetve a számított struvit mennyiséget durva közelítéssel azt mondhatjuk, hogy 1  $\text{m}^3$  feladott iszaptól 1,5 kg struvit keletkezik.

## 7. Struvit képződés visszaszorítása / megakadályozása

Célunk a struvit képződés visszaszorítása vagy megakadályozása az anaerob iszaprothasztóban. Erre számos eljárás ismert (pl.:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3$  vagy inhibitor adagolása, pH szabályozás, szabályozott kristályosítás, termék előállítás).[12]

Az egyik ilyen lehetséges megoldás, ha a rothasztók elé egy reaktort építenek, melyben a nukleációs reakciókat kihasználva olyan körülményeket idéznek elő, amely kedvez a kristályképződésnek. Ezzel az irányított kicsapással megakadályozható a rothasztó testben történő MAP ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) leválása. Ennek a technológiának az alkalmazásával lehetőség nyílik az ily módon előállított struvit további hasznosítására is, amely a későbbiekben jelentős lehet a vésszesen apadó foszfátkészletek miatt. Napjainkban azonban ez a megoldás túl nagy beruházási költséget vonna maga után, melynek megtérülési ideje is nagy lenne. [12]

Megoldás lehet a sav adagolása a keletkező kristályok oldásának érdekében, de akár a kivált kristályok mechanikai eltávolítása is megoldást jelenthet, habár ez több esetben is körülményes. A pH eltolása minden esetben kockázatot jelent a rothasztó megfelelő működésének tekintetében. [18]

A struvit kiválásának szabályozása különböző kémiai inhibitorokkal, valamint kelátképző szerekkel is lehetséges. A kémiai anyagokkal történő szabályozás három csoportra bontható. Az oldhatóságot befolyásoló anyagok, a kristálynövekedési mecha-

nizmust befolyásoló anyagok, valamint a diszpergáló szerként ható anyagok. Az egyik leghatékonyabb vegyi anyag a Buchanan által azonosított Millsperser 956 nevű termék volt. Ez nátrium-hexametafoszfátot tartalmazott, mely gyenge kelátokat képzett az oldatban lévő magnéziumionokkal, így megakadályozva a struvit kiválását. [17]

Egy tanulmány során kísérleti módosított járókeréken történő struvit kiválás tömege szerint hasonlítottak össze több kelátképző anyagot. A kísérlet végén azt állapították meg, hogy az EDTA alkalmazása volt a leghatékonyabb. A további vizsgálatok egyértelmű összefüggést mutattak ki az EDTA dózisa és a struvit kiválásának mennyisége között. A legkedvezőbb esetet az EDTA és a struvitban lévő magnézium 2:1-es arányú beállítása eredményezte. Az EDTA használata széles körben elterjedt az iparban, azonban a szennyvíztisztításban még soha nem használták struvit képződés csökkentésére. Fontos megemlíteni azt is, hogy az EDTA alkalmazása nem akadályozta meg teljesen a struvit kiválását, mivel az még visszanyerhető volt a centrifuga csurgalékvizéből. Mivel ez a megoldás nem elterjedt és kevés tapasztalat van az eddigi eredményekről, a jelenlegi állás szerint kockázatos, valamint költséges lenne az EDTA adagolás a Veszprém Városi Szennyvíztisztító telepen. Elméletben azonban mindenképp érdemes foglalkozni ezzel a lehetőséggel is. [17]

Az esetünkben a legkönnyebben alkalmazható módszer a struvit képződés megakadályozására az iszapvízben lévő foszfor tartalom megkötése vas-só adagolásával. Ez két módon lehetséges. Az egyik megoldás szerint a vas-só csak kis mennyiségben kerül beadagolásra. Ebben az esetben a biológiai és a kémiai foszfor eltávolítás egyaránt működik. A rothasztó belsejében azonban ekkor a keletkezett  $\text{H}_2\text{S}$  a fémsó csapadékot hajlamos felbontani és a felszabadult fémsóval szulfidokat képezni. A korábban megkötött  $\text{PO}_4^{3-}$  így visszaoldódik az iszapvízbe. Ennek mértéke viszont jóval kisebb, mint a kizárólag biológiai többletfoszfor eltávolítás esetén. Másik megoldás lehet ha a vas-só adagolását feleslegben végezzük. Ekkor a biológiai foszforeltávolítás visszaszorul. A túladagolt fémsó nem reagál el teljes mértékben a foszforformákkal, az így megmaradt szabad fémsó a rothasztóban képződő  $\text{H}_2\text{S}$ -el elreagál. Ez azonban mind a két esetben iszapfozom növekedés-

sel járna, ami növelné a felhasznált energia mértékét is. [6, 10]

További lehetőség az anaerob rothasztás során az iszapvízbe visszaoldódott foszfor megkötése az iszapfázisban a centrifugára feladott, kirotasztott iszap kezelésével. Ilyen megoldást kínál a centrifugára feladott iszaphoz adagolt vas(III)-kloridot tartalmazó segédanyag, mely a víztelenítés hatékonyságát és biztonságát fokozza. Több jótékony hatása mellett az adalékanyag hatására a struvit képződést okozó vegyületek semlegesítődnék, illetve a víztelenített iszappal együtt távoznak. Így a csurgalékvízben alacsonyabb foszfortartalom lesz jellemző, ezáltal kevesebb foszfor kerül vissza a technológia elejére, megakadályozva annak felúsulását. Az adalékanyag feladata, hogy az összetételt úgy alakítsa át, hogy a csurgalékvíz javítsa a telep hatásfokát. [19, 20]

## Összefoglalás

A vizsgálatok elvégzése során lehetőségem volt egy jelenleg is fennálló technológiai probléma megoldási folyamatának szerves résztvevője lenni.

A biológiai foszforeltávolítás-, valamint a teljes szennyvíztisztítási technológia folyamatának megértéséhez a jelenleg leírtaknál jóval több ismeret elsajátítása szükséges. Az anaerob körülmények között történő mineralizációs folyamatok szintén bonyolultak és sok paramétertől függenek. Ennek nyomán követése is elengedhetetlen a probléma hatékony kiküszöböléséhez.

A foszforeltávolítás folyamatát és az azt követő mellékfolyamatokat megvizsgálva számos lehetőség szerint megoldható a struvitkiválás. Ezek közül azonban a legfontosabb egy olyan módszer alkalmazása, amely gazdaságilag is kielégítő. A jelenlegi szakirodalomban sok megoldás - mely gazdaságilag kedvező lehet - még kísérleti fázisban van.

A tapasztaltak alapján célom, hogy a jelenlegi kísérletet tovább folytassam és kidolgozzam a leginkább kedvező módszer alkalmazását.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Foszfortartalom eltávolítása a szennyvíztisztításnál In: <https://vitigroup.hu/tudastar-foszfortartalom-eltavolitasa-a-szenyvizisztitasnal> Letöltés: 2021.08.09.
- [2] Dr. Kárpáti Árpád (szerk.): *Vízgazdálkodás – szennyvíztisztítás*. In: Dr. Domokos Endre (szerk.): *Környezetmérnöki Tudástár 10. kötet Veszprém, Pannon Egyetem, 2011. pp. 95-164; 180-201*
- [3] Csizmarik Gábor: *Hidrobiológia*. Budapest: Szent István Egyetem, 2011. pp. 63-67.
- [4] G.K. Morse, S.W. Brett, J.A. Guy, I.N. LesterU.: *Review: Phosphorus removal and recovery technologies*; In: *The Science of the Total Environment* 212 (1998) 69-81
- [5] Dr. Takács János: *Kommunális Szennyvizek tápanyagtartalmának csökkentési lehetősége*. hulladékOnline elektronikus folyóirat, 4. évfolyam 1. szám (2013) In: <https://docplayer.hu/998612-Kommunalis-szenyvizek-tapanyagtartalmanak-csokkentesi-lehetosege-dr-takacs-janos.html> Letöltés: 2021.10.19.
- [6] J. Thistleton, T.-A. Berry, P. Pearce and S. A. Parsons: *Mechanisms of chemical phosphorus removal II - Iron (III) Salts*. *Trans IChemE, Vol 80, Part B, 2002*
- [7] Thury Péter: *Az anaerob iszaprohasztás után keletkező iszapvíz minősége, és annak hatása a tisztítás főágára*. Doktori Értekezés, Veszprém: Pannon Egyetem Vegyészmérnöki Tudományok és Anyagtudományok doktori iskolája, 2009. pp. 12-24.
- [8] Scott Harris: *Biological phosphorus removal from waste water*. United States Patent, Belrose, Australia 1995.
- [9] Oláh József – Öllős Géza – Palkó György – Rása Gábor – Tarjányné Szikora Szilvia: *Anaerob lebontás alap-folyamata és a rohasztók ellenőrzése I*. In: [http://statex.hu/cikkek/Anaerob\\_alapfolyamat\\_1.pdf](http://statex.hu/cikkek/Anaerob_alapfolyamat_1.pdf) Letöltés: 2021.08.09.
- [10] Volf Balázs István: *Biogáz hasznosítás hatékonyságának növelése a rohasztó tornyokban, kofermentáció megvalósítása a veszprémi szennyvíztisztító telepen*. Szakdolgozat, Nagykanizsa: Pannon Egyetem, 2016. pp. 10-19; 33-34; 50-63
- [11] Dr. Kárpáti Árpád (szerk.): *Szennyvíztisztítás korszerű módszerei*. In: Dr. Domokos Endre (szerk.): *Környezetmérnöki Tudástár 32. kötet Veszprém: Pannon Egyetem, 2014. pp. 56-57; 96-99; 263*
- [12] Román Pál: *Szennyvíziszap hasznosítása, Budapest: Fővárosi Csatornázási Művek Zrt., In: <https://www.bitesz.hu/wp-content/uploads/2017/05/Rom%C3%A1n-P%C3%A1l-Szenyiv%C3%ADziszap-hasznos%C3%ADt%C3%A1sa.pdf> Letöltés: 2021.10.27.*
- [13] Siegrist, H., Renggli, D., Gujer, W.: *Mathematical modelling of anaerobic mesophilic sewage sludge treatment*. *Water Science and Technology* Vol 27, No.2. (1993) pp. 25 – 36
- [14] Oláh József– Palkó György– Szilágyi Mihály– Barabás Győző– Gyarmati Imre– Tuba László: *Rothasztók üzemeltetése*. In: <https://docplayer.hu/8312499-Rothasztok-uzemeltetese-olah-jozsef-palko-gyorgy-szilagy-mihaly-barabas-gyozo-gyarmati-imre-tuba-laszlo-fcsm-zrt.html> Letöltés: 2021.10.27.
- [15] *VízTEC Víztechnológiai Zrt.: Struvit képződés csökkentésére a veszprémi szennyvíztisztító telep iszapvonalán. Kísérleti terv. Budapest, 2020.*
- [16] Daisuke Koga: *Struvite Recovery from Digested Sewage Sludge* In: *Phosphorus Recovery and Recycling, Chapter 17. 2018 pp 255-264*
- [17] James D. Doyle; Kath Oldring; John Churchley; Colin Price; and Simon A. Parsons: *Chemical Control of Struvite Precipitation*. (2003) In: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2003\)129:5\(419\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9372(2003)129:5(419)) Letöltés: 2021.09.12.
- [18] Sebastian Petzet, Peter Cornel: *Prevention of Struvite Scaling in Digesters Combined With Phosphorus Removal and Recovery—The FIX-Phos Process*. In: *Water Environment Research, Volume 84, Number 3. 2012. pp. 220-226.*
- [19] BWA LAB: *A denitrifikációs hatások növelése és a teljes iszapvonal mentesítése a sztruvit problémától. Kísérleti beszámoló. 2021.*
- [20] BWA LAB: *Veszprém szvtt Víz és iszapvonal hatékonyságának fokozása. 2021.*

## Vízű Panoráma / A Magyar Víziközmű Szövetség lapja

Kiadja a Magyar Víziközmű Szövetség

Felelős kiadó: **Nagy Edit** / Főszerkesztő: **Márialigeti Bence**

Szerkesztő Bizottság elnöke: **dr. Patziger Miklós**

Szerkesztő Bizottság tagjai: **dr. Bíró Tibor, dr. Dombay Gábor, dr. Hős Csaba, dr. Karches Tamás, Kreitner Krisztina, dr. Patziger Miklós, Radács Attila, Tary Dávid, Tolnai Béla**

Szerkesztőség: **1051 Budapest, Sas u. 25., IV. em.**

E-mail: **vizmu.panorama@maviz.org**

Honlap: **www.maviz.hu/vizmu-panorama**

Hirdetésszervezés: **Tary Dávid** E-mail: **tary.david@maviz.org**

Lapterv és tördelés: **Tary Dávid**

Nyilvántartási szám: **B/SZI/1925/1993 302-5066**

ISSN: **2732-0340** / Minden jog fenntartva



**JUHÁSZ IVETT**  
TRV Zrt.  
ivóvíz-technológiai  
csoporthvezető



**MÁRTA DÓRA**  
TRV Zrt.  
technológus

Juhasz.Ivett@trvzrt.hu  
marta.dora@trvzrt.hu

**KIVONAT:** A 2023.01.12-én életbe lépő új 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet számos paraméter tekintetében szigorította az ivóvíz minőségére vonatkozó követelményeket. Társaságunk az ezeknek való megfelelés céljából számos megoldási tervet alkotott meg.

Az egyes víztisztító technológiai eljárások számos kockázattal lehetnek az ivóvíz minőségére. Eddigi munkatapasztalatink alapján a mikrobiológiai és kémiai kifogásoltságokat teljesen külön kezelte az üzemeltető terület. Az elmúlt évben egyre inkább fény derült arra a tényre, hogy egyes élő szervezetek képesek károsan hatni a kémiai tisztító hatásokra. A törésponti ammóniummentesítést alkalmazó víztisztítási eljárásoknál pedig jelentősen megnő a kockázata a szerves, valamint szervesetlen klórozási melléktermékek képződésének.

Az értekezés célja, hogy bemutassa az előzőekben feltárt problémák elhárítására kidolgozott megoldási terveket.

**KULCSSZAVAK:** 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet, vízminőség, mikroszkópos biológia, szerves klórozási melléktermékek, szervesetlen klórozási melléktermékek, zöldhomok, üzemeltetési nehézségek

## SZOLGÁLTATÓK SZEMÉVEL

# Megfelelés az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendeletben meghatározott vízminőségi követelményeknek a TRV Zrt. üzemeltetési területén

## 1. MIKROSKÓPOS BIOLÓGIAI, BAKTERIOLÓGIAI PARAMÉTEREK

Az elmúlt években számos olyan vízműteleppel volt dolgunk társaságon belül, amely mikroszkópos biológiai szempontból kifogásoltan minősült. Ezeknek az élő szervezeteknek az eltávolítása legtöbbször nagy nehézséget okozott, így nem volt kérdéses számunkra, hogy belekezdjünk a társaságunk által leggyakrabban alkalmazott fertőtlenítőszeres hatásmechanizmusának vizsgálatába.

A Magyarországon hatályban lévő 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet szabja meg a hálózatba bocsátható ivóvíz minőségét. A betartandó mikroszkópos biológiai, valamint bakteriológiai parametrikus értékeket/határértékeket az 1. táblázat szemlélteti. Az élő szervezetek nagymértékű diverzitása miatt ebben az értekezésben leginkább a fonálférgekről lesz szó.

Az élőszervezetek elpusztítása során fontos megkülönböztetnünk a fertőtlenítést, a sterilizés fogalmától. Fertőtlenítés során nem cél az élő szervezetek számát 0-ra csökkenteni, csupán egy olyan mértékű egyedszám csökkenés elérése a cél, ami már nem jelent közegészségügyi kockázatot.

A World Health Organization (WHO) által kiadott útmutató szerint minden esetben a fertőzött ivóvíz lenyelése jelenti a legnagyobb közegészségügyi kockázatot.[1] Igaz, hogy az ivóvízben előforduló fonálférgek nem jelentenek közvetlen veszélyt az emberi szervezetre, azonban zsigereikben hordozhatnak patogén baktériumokat, vírusokat. Továbbá a víz zavarosodásával esztétikai problémát okoznak. Súlyosan szennyezett ivóvízbe kerülhetnek azonban patogén fajok is, amik már súlyos közegészségügyi koc-

Vízminőségi jellemzők	Parametrikus érték/határérték	Mértékegység
E.Coli/ Coliform	0	szám/100 ml
22°C-os telepszám	500	szám/ml
37°C-os telepszám	500	szám/ml
Üledék	0,1	ml/l
Vas- és mangánbaktériumok	2x10 <sup>4</sup>	szám/ml
Kénbaktériumok	2x10 <sup>4</sup>	szám/ml
Szennyezettséget jelző baktériumok	0	szám/ml
Cianobaktériumok és algák	5x10 <sup>3</sup>	szám/ml
Gombák	0	szám/ml
Házás amőbák	5	szám/ml
Egyéb véglények	0	szám/ml
Fonálférgek	5	szám/ml
Egyéb férgek	0	szám/ml
Egyéb (gerinctelen) szervezetek	0	szám/ml

1. táblázat: Mikroszkópos biológiai, bakteriológiai parametrikus értékek ivóvízre vonatkozóan

kázatot vonnak maguk után. Igen fajgazdag, sajnálatos módon még igen ismeretlen törzsnek tekinthető. Jelen tudásunk szerint 23 000 faja biztosan beazonosítható, azonban az ismeretlen fajokkal együtt akár 1.000.000 faj is előfordulhat.[2]

### 1.1 Fertőtlenítőszeres hatásmechanizmusa

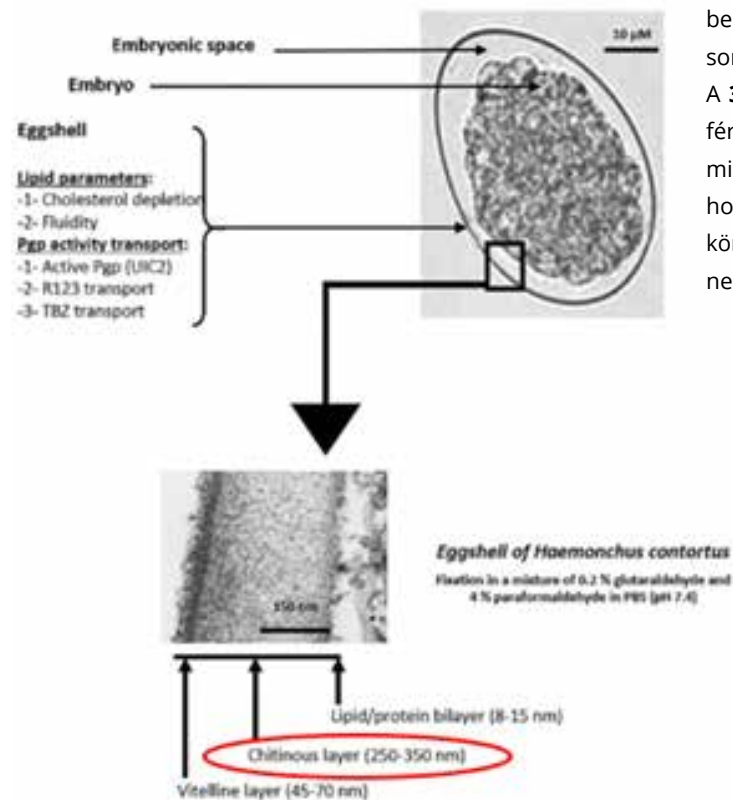
Az alkalmazott fertőtlenítőszeresek 4 mechanizmus révén pusztítják a kórokozókat. Az első az oxidatív hatás révén bekövetkező sejtmembrán roncsolás. Ennek következtében megváltozik a sejtmembrán permeabilitása, azaz átteresztőképessége. Gátolják az élő szervezetek növekedését, aminek következtében nem képes további reprodukcióra sem. Végül pedig a fehérje denaturálódás következtében az energiatermelésért felelős enzimszereket inaktíválja, aminek a következtében az egyed elpusztul. [3]

Hatásmechanizmus alapján 3 csoportot különböztethetünk meg. Ez a három csoport az oxidálva fertőtlenítők, a redukálva fertőtlenítők, valamint a fehérjekicsapás elvén fertőtlenítők csoportja. Az oxidálószeresek károsítják a sejtmembránt, megváltoztatják annak átteresztőképességét, aminek következtében az élő szervezet számára káros mérgeanyagok is átjutnak azon. Ennek következtében az élő szervezet elpusztul. A fehérjekicsapás elvén működő fertőtlenítőszeresek csoportján belül meg kell, hogy különböztessünk két csoportot. Vannak olyan szerek, amelyek reverzibilisen roncsolják a fehérjéket. De mit is jelent ez? Fehérjekicsapás elvén működő vegyszeres kezelést követően a szervezetben lévő fehérjék térszerkezete megváltozik, működésképtelenné válik. Reverzibilis térszerkezet változásról beszélünk, ha a sejtet újra vizes közegbe helyezve visszanyeri a fehérje az eredeti térszerkezetét, újra aktívá válik. Irreverzibilis denaturálódást követően a fehérje nem képes visszanyerni eredeti térszerkezetét. Irreverzibilis elváltozást okoznak a könnyűfémsók, irreverzibilist pedig a nehézfémek, szerves savak, valamint a hő. Ivóvízkezelésben redukálva fertőtlenítő szereket nem alkalmazunk a képződő káros szabadgyökök miatt.

### 1.2 Miért nem hatékony a fertőtlenítés?

Ahogy azt az előzőekben is említettük, a fertőtlenítések során a legnehezebb feladat a fonalféreg eltávolítása. A sikertelen fer-

tőtlenítés oka a fonalféreg petéinek sejt szerkezetében, valamint az életkörülményekhez történő gyors alkalmazkodóképességben keresendő (1. ábra). A peték külső burka nagy százalékban kitint tartalmaz, ellenben a kifejlett egyedek külső burka nem tartalmaz kitint. Ez az anyag adja a nagy fokú védelmet a tojás számára, hiszen kizárólag savas környezetben, melegítés hatására oldható. [4], [5]



1. ábra: Féregpeték külső sejt szerkezete[6]

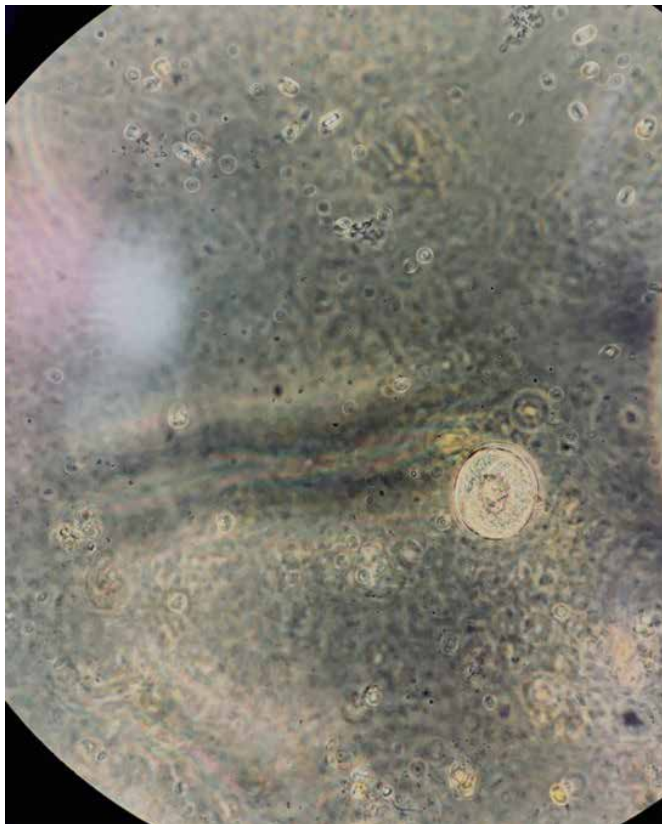
Számos mutagén anyag fordul elő a környezetben, aminek hatására megváltozik a genetikai állományuk, így képesek lesznek más életkörülmények között megélni. Mindezek következtében

képesek elviselni egy adott fertőtlenítőszeret is. Ezt nevezzük rezisztenciának.

Egy következő nagyon fontos megállapítás, hogy a fertőtlenítőszerrel történő érintkezés egy motoros választ indukál az élő, kifejlett egyedekben. Izomösszehúzódnak következtében megtörténik a peték külvilágba juttatása. [2] Ha nem a megfelelő fertőtlenítőszeret választjuk ki, akkor ezek a peték életképesek maradnak, folytatják érési folyamataikat, majd a megfelelő külső, vagy belső faktor megjelenésekor kikelnek. A 2. ábra egy fertőtlenítés során megtörténő pete kilökődés pillanatnyi képeit szemlélteti. A 3. ábra pedig egy nátrium-hypoklorit oldatos kezelés utáni féregpetét ábrázol. Megfigyelhető, hogy mind a sejtmembrán, mind pedig a petében lévő lárvák teljesen épek. Ez is igazolja azt, hogy a tojás membránjában található kitinréteget csak bizonyos körülmények között lehet feloldani, mely feltételeket a hypo oldat nem biztosítja.



2. ábra: Féregpete kilökődés folyamata



3. ábra: Féregpete hypo-s kezelést követően

### 1.3 Hol okoznak leginkább problémát?

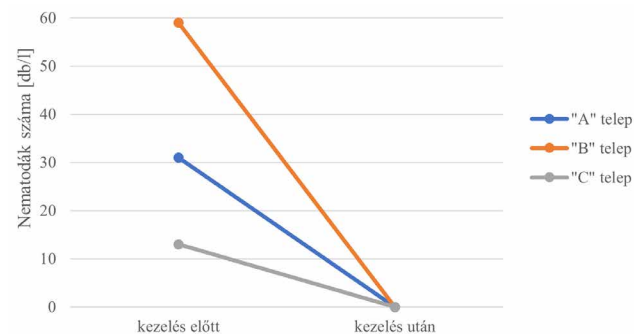
A technológia tisztítása során a legnagyobb nehézséget a szűrőtöltetek okozzák. Ezek biológiai melegágyaknak tekinthetők. Melegebb időben gyorsul az élő szervezetek szaporodási sebessége, valamint csökken a töltet adszorpció kapacitása, deszorpció következik be. Ezért van az, hogy melegebb időben nagyobb egyedszámot tapasztalunk a szűrt vízben. Irodalmi adatok bebizonyították, hogy a maximális visszamosási sebességgel is csak maximum 80%-os tisztítási hatékonyság érhető el. Nagyon fontos, hogy a töltet teljes mennyisége érintkezzen a vegyszerrel, ne maradjanak holtterek, amelyek vissza képesek fertőzni a rendszert. Továbbá nagyon fontos a megfelelő fertőtlenítőszer megválasztása. Aktív töltetek esetében az alkalmazható vegy-

szerek száma korlátozott. Zöldhomok töltet esetében például a hidrogén peroxid alkalmazása nem javasolt, hiszen a töltet felületén lévő  $MnO_2$  réteg katalizálja a  $H_2O_2$  bomlását, ami erősen exoterm reakciót eredményez. Tehát hiába ismert a leghatékonyabb fertőtlenítőszer, van, hogy az nem alkalmazható az adott technológia esetében.

#### 1.3.1 SZŪRŐTARTÁLYOK, TÖLTETEK FERTŐTLENÍTÉSE

2023-ban megkezdtük a laboratóriumi kísérleteket, amelyek következtében beigazolódott, hogy a leggyakrabban alkalmazott hypo oldatok, mint fertőtlenítőszer alkalmazatlanok a kívánt cél eléréséhez. A leghatékonyabb vegyszereknek azok a vegyszerek bizonyultak, amelyek irreverzibilis fehérjedenaturálás elvén fejtik ki hatásukat. A magas hőmérséklet is ezen az elven működik. Innen jött az ötlet, hogy létrehozzunk egy olyan fertőtlenítő berendezést, amely képes a tartályokban lévő víz 85-90°C-ra való felfűtésére. Társaságunk beszerzett tehát egy ún. mobil hőkezelő berendezést, mellyel a tavaszi és őszi tározó mosási időszakokban az üzemeltető kollégák fertőtlenítik az erősen fonálférgekkel, valamint egyéb férgekkel szennyezett szűrőtartályokat. Maga a kazán a benne lévő vizet (beállítástól függően) 85°C-ra fűti fel, így a tartályról lejövő szivó ágban elért maximális hőmérséklet 70-75°C körül alakult a kezelése során. A rendszert legalább 10 órán keresztül ezen a hőfokon tartottuk, majd visszahűlést követően a kezelt vizet kiengedtük a környezetbe.

Az eddig elvégzett kezeléseik eredményeit a **4. ábra** szemlélteti. Megfigyelhető, hogy a módszer az ivóvízben előforduló férgek vonatkozásában hatásos, minden esetben a halálzási arány 100%-os értéket vett fel.



4. ábra: Termikus kezeléssel elért eredmények

A kezelés előnye, hogy nem keletkezik környezetre káros kezelendő hulladék. A felmelegített víz visszahűlést követően kiengedhető a környezetbe. Továbbá nincs jelen az erős korróziót okozó vegyszerek káros hatása sem, így a műtárgyak élettartama nem rövidül. Azonban ez sem egy tökéletes eljárás, hiszen megtapasztaltuk néhány árnyoldalát is. Maga a kezelés jelentős üzemeltetési költséggel jár (akár villamos hálózatról, akár aggregátorról történik az üzemeltetése), hiszen a berendezés fő részét képező elektromos kazán 44kW teljesítményű. Továbbá a kezelést követően a szűrőkön bakteriológiai telepszám szaporulat következett be, azonban ezt a problémát könnyebben lehet kezelni, mint a fonálférges vagy az egyéb férgek jelenlétét.

#### 1.4 Hatásuk a kémiai folyamatokra

2023 második felében megkezdődtek Társaságunknál a zöldhomok töltetek cseréje egyes telepeken. A betöltést követően akadtak olyan tisztító technológiák, melyeknek 2-3 hét elteltével súlyos mangán kifogásoltsággal kellett megküzdeniük. A mangán a zöldhomok töltet felületéről visszaoldódott a tisztítandó vízbe, aminek következtében a további tisztítási reakciók eltolódtak. A területen lévő üzemeltető kollégákkal közösen elkezdtek felkutatni a probléma lehetséges kiváltó okait. A problémás technológiákban közös tényező, hogy gáztalanítási eljárással rendelkeznek, aminek következtében jelentős biofilm képződik a műtárgyakban, beleértve a homoktöltetet is. Ezen a ponton egy külső labor segítségét hívtuk segítségül. A BIOMI Kft.-hez beszállításra kerültek a biofilm minták, akik teljes szekvenálást hajtottak végre és identifikálták a mintában előforduló összes nemzetséget. A következőkben a „D” vízmű esetében mutatjuk be az eredményeket. A következőkben a többi tisztítási technológiára is általánosíthatók lesznek.

A baktériumok osztályozásáról a BIOMI Kft. egy megoszlási kördiagrammot is készített, amit az **5. ábra** szemléltet. Összességében elmondható, hogy többnyire metanotróf baktériumok szaporodtak el, amik a metánt használják energiatermelési folyamataik során, mint szénforrást. A lebontó folyamatok során számos melléktermék képződik, melyek közül számunkra a legfontosabb az maga a  $CO_2$ . Az agresszív szén-dioxid oldja a fém vegyületeket, ezért tapasztaljuk a mangán visszaoldódását a zöldhomok töltetről. Ezen metanotróf baktériumok anyagcse-



tekre kiszabott határértékeknek 2026.01.01-től kell megfelelnie a Magyarországon üzemeltetett víztisztító technológiáknak.

elsősorban azokban a vizekben nagy a valószínűsége, melyek néhány mg/l koncentrációban természetes eredetű humin, fulvin, illetve lignin anyagokat tartalmaznak. [9], [10], [11] A halo-

Melléktermék	Kiszabott határértékek, ajánlások			
	Magyarország	EU	US EPA	WHO ajánlás
HAA	60 µg/l	-	HAA <sub>5</sub> : 60 µg/l	MCAA: 20 µg/l DCAA: 50 µg/l TCAA: 200 µg/l
THM	50 µg/l	100 µg/l	80 µg/l	CHCl <sub>3</sub> : 300 µg/l CHCl <sub>2</sub> Br: 60 µg/l CHClBr <sub>2</sub> : 100 µg/l CHBr <sub>3</sub> : 100 µg/l

**1:** előzetes érték mivel a fertőtlenítés során a határértéket a mért koncentráció gyakorta meghaladja

**EU:** Európai Unió határérték

**US EPA:** United States Environmental Protection Agency

**WHO:** World Health Organization

**HAA:** haloecetsav

**THM:** trihalometán

**MCAA:** monoklór-ecetsav

**DCAA:** diklór-ecetsav

**TCAA:** triklór-ecetsav

**HAA<sub>5</sub>:** MCAA+MBAA+TCAA+DCAA+DBAA

2. táblázat: Határértékek, ajánlások

Az összes THM, valamint HAA vegyület bizonyítottan karcinogén vegyület, így fokozottan fontos ezen vegyületek folyamatos monitorozása. A THM vegyületek bizonyítottan máj- és vesekárosító hatással rendelkeznek, valamint károsan hatnak az idegrendszer működésére. Állatkísérletek igazolták, hogy a nőstény egyedekben korai vetéléshez vezetnek, a hímek esetében pedig a hímivarsejtek életképességének csökkenését okozzák. A négy THM vegyület közül a bróm-diklórmetán mutagén hatással is rendelkezik. A THM vegyületcsaládba a következő 4 komponens tartozik bele: kloroform, bromoform, bróm-diklórmetán, valamint a klór-dibrommetán. A THM vegyületek képződésének

és brómozott ecetsavszármazékot értünk, melyek a következők: monobrom-ecetsav (MBAA), dibrom-ecetsav (DBAA), monoklór-ecetsav (MCAA), diklór-ecetsav (DCAA), triklór-ecetsav (TCAA), bróm-klórecetsav (BCAA), bróm-diklór-ecetsav (BDCAA), tribrom-ecetsav (TBAA), dibrom-klór-ecetsav (DBCAA). Az US EPA ezek közül jelenleg öt haloecetsav fajtát szabályoz, melyek MCAA, MBAA, DCAA, DBAA és TCAA. Ezek megengedett maximális összkoncentrációja 60 µg/l. [12] HAA melléktermékek keletkezhetnek klórbázisú oxidálószerrel, klór-dioxiddal, klór-aminnal, valamint ózonnal való fertőtlenítés során, azonban bizonyított tény, hogy a klórozás során keletkezik legnagyobb

számban ez a vegyületcsalád.[13]A klórdioxiddal történő fertőtlenítés jelentősen csökkenti a THM-ek és a HAA-k képződését, a klórral való kezeléshez képest.[12]Kutatások igazolták, hogy a brómozott/jódozott melléktermékek egészségügyi hatása sokkal súlyosabb, mint a klórozott társaiké. A jód-ecetsav például oxidatív stressz útján okoz DNS károsító hatást.[14]

Szakirodalmi, valamint tapasztalati adatok alapján kijelenthető, hogy a szerves klórozási melléktermékek képződése potenciálisan a törésponti klórozást alkalmazó ivóvíztisztító technológiák esetében jelentős. Társaságunk 58 db törésponti ammóniummentesítést alkalmazó technológiával rendelkezik. Az értekezésben célunk bemutatni, hogy az előbb említett vegyületcsaládok képződését mely paraméterek befolyásolják jelentősen. Mindezek következtében elvégeztük az egyes paraméterek Pearson korrelációs analízisét, melynek az eredményeit tartalmazó korrelációs táblázatot a **3. táblázat** szemlélteti. A számolt p-érték minél közelebb van a -1/1 értékhez, annál erősebb kapcsolat van a két paraméter között. [15]

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/l]	KOI <sub>Mn</sub> [mg O <sub>2</sub> /l]	Hőmérséklet [°C]	Klorát [mg/l]	Összes THM [µg/l]	HAA <sub>5</sub> [µg/l]
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/l]	1	0,57	0,35	0,38	0,61	0,62
KOI <sub>Mn</sub> [mg O <sub>2</sub> /l]	-	1	0,51	0,08	0,63	0,53
Hőmérséklet [°C]	-	-	1	-0,27	0,31	0,31
Klorát [mg/l]	-	-	-	1	0,21	0,28
Összes THM [µg/l]	-	-	-	-	1	0,90

3. táblázat: Pearson korrelációs táblázat

α=0,05 szignifikancia szint

Korreláció erősségének növekedése:

|px,y| = 0,00 → a kapcsolat hiánya

0,01 ≤ |px,y| ≤ 0,30 → a kapcsolat gyenge

0,31 ≤ |px,y| ≤ 0,49 → a kapcsolat közepesnél gyengébb

|px,y| ≈ 0,50 → a kapcsolat közepes

0,51 ≤ |px,y| ≤ 0,80 → a kapcsolat közepesnél erősebb

0,81 ≤ |px,y| ≤ 0,99 → a kapcsolat erős

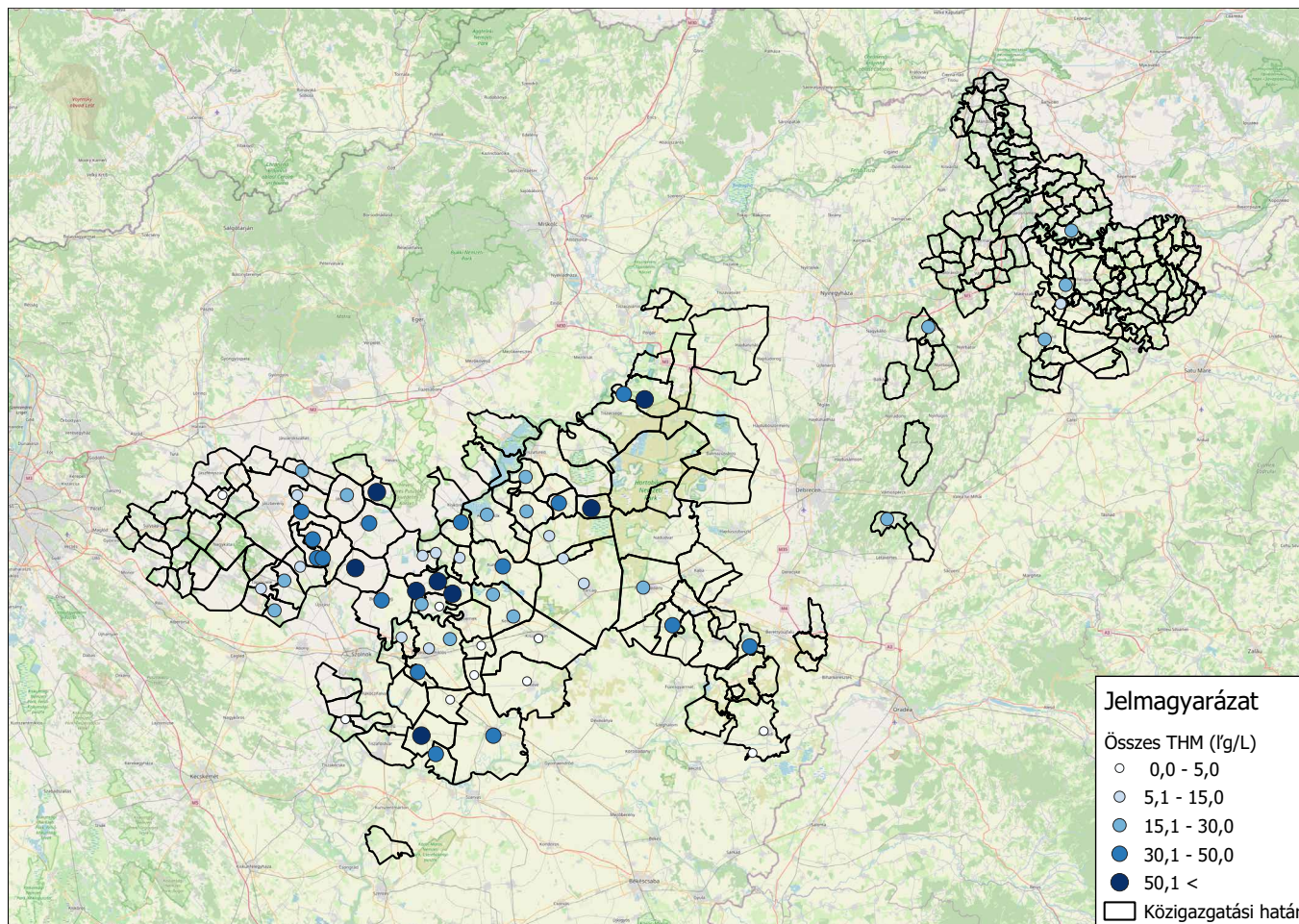
|px,y| = 1,00 → a kapcsolat függvényszerű

Látható, hogy a képződött THM koncentrációk a közepesnél erősebb kapcsolatban állnak a nyersvíz szervesanyag tartalmával, illetve erős kapcsolatban a képződött haloecetsav tartalommal, amely szintén a szerves klórozási melléktermékek csoportjába tartozik. Általánosságban azt lehet elmondani, hogy melegebb vizekben nagyobb valószínűséggel képződhetnek klórozási melléktermékek, mint hideg vízbázisok esetében. Fontos megemlítenünk, hogy ez az összefüggés nem kizárólag a melléktermék képződésre utal, hanem befolyásolja az aktív szén-szűrők hatékonyságát is. Hiszen a szűrési hatékonyság a hőmérséklet emelkedésével romlik.

Az eredmények igazolják az irodalmak által közölt állításokat, miszerint a nyersvíz szervesanyag tartalmától nagyban függ a képződött melléktermék koncentráció. Hiszen a korrelációs analízis eredményeül a p-érték az összes THM koncentráció, valamint a  $KOI_{Mn}$  között  $p=0,63$ -mal egyenlő. A nyersvíz ammónium-ion tartalmával összefüggésben áll a THM koncentráció alakulása, mivel magasabb ammónium-ion tartalmú vízhez nagyobb dózisu klórbázisú oxidálószer adagolása szükséges, ami megnöveli a szerves klórozási melléktermékek képződési potenciálját (THM, HAA). Ezekben az esetekben a közepesnél erősebb korrelációs együtthatót kaptunk a statisztikai számítások során. Általában a magas ammónium-ion tartalmú nyersvizekre legtöbbször magas szervesanyag koncentráció jellemző, melyet szintén bizonyítanak az analízis eredményei.

Összességében elmondható, hogy a szerves klórozási melléktermékek képződési potenciálja függ a nyersvíz ammónium-ion szervesanyag tartalmától, valamint hőmérsékletétől is. A nem túl erős korrelációs együtthatók abból alakulnak, hogy a tisztítandó víz nem homogén rendszer, minden nyersvíz egyedinek tekinthető. Ezen melléktermékek képződése együttesen függ több paramétértől is, ami vízbázisonként erősen különbözhet.

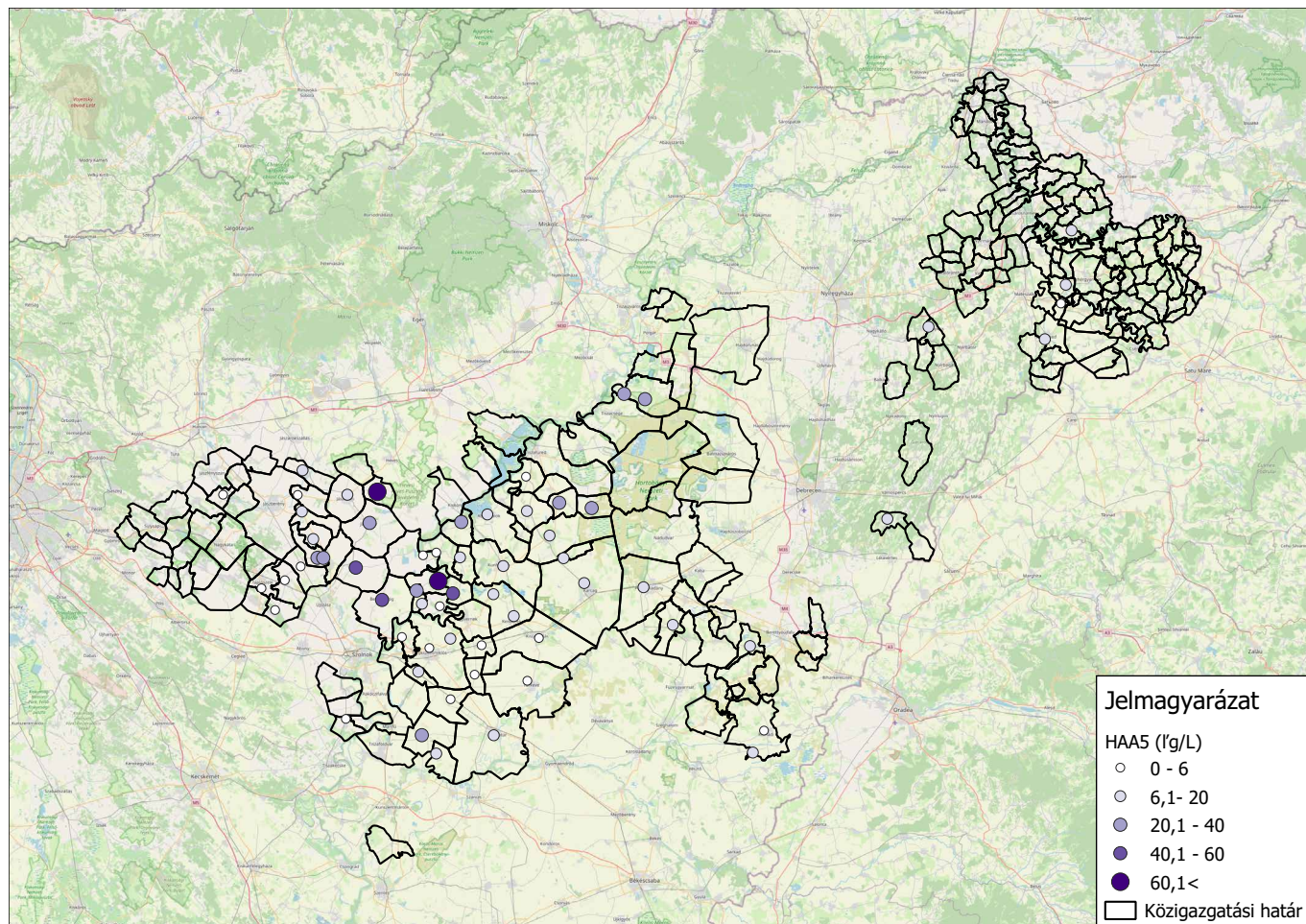
Társaságunk által üzemeltetett törésponti technológiákon mért mérési eredmények alapján ábrázolt térképeket a **8-9. ábra** szemlélteti. Megfigyelhető, hogy THM-ek tekintetében nyolc esetben lépték át a mérési eredmények a megengedett  $50\mu\text{g/l}$ -es határértéket. A legtöbb eredmény a  $30,1$ - $50\mu\text{g/l}$ -es tartományba sorolható. Összességében elmondható, hogy a működési területen jelentős a THM képződés. HAA esetében pedig két helyen mértek



8. ábra: TRV Zrt. működési területén mért trihalometán eredmények

határérték ( $60\mu\text{g/l}$ ) feletti, illetve három településen  $40,1$ - $60\mu\text{g/l}$  közötti értékeket. Tehát összességében a mérési eredmények nem lépik túl jelentős mértékben a meghatározott határértéket. Azonban fontos kijelentés az, amit a korrelációs analízis is igazol, hogy ahol van THM képződés ott HAA képződés is jelen lesz. Ez nem jelenti azt feltétlenül, hogy a HAA is kifogásolt lesz, de számolni kell a képződésével. Mivel karcinogén vegyületekről van szó a kitűzött célértéknek mindenképpen nullának kell lennie. Megfigyelhető továbbá az is, hogy a kifogásolt telepek közel egy csomópontban helyezkednek el, amely a régió vízbázisát is jellemzi.

Tapasztalatok alapján a magas vízhőfok, valamint a magas szervesanyag koncentráció felborítja az oxidálási sorrendet, aminek következtében a szervesanyag hatalmas mennyiségű oxidálószerrel von el a rendszerből, okozva ezzel elégtelen ammónium-mentesítést. Véleményünk szerint a szerves klórozási melléktermékek okozta problémákat nyersvíz oldalról kellene megközelíteni. A magas hőmérsékletű és magas szervesanyag tartalmú vizeket kezelni nagyon költséges és bonyolult eljárás. Egyik technológia sem tartalmaz hőcserélőt, ami megfelelő értékre hűtené vissza a kezelendő vizet. A legtöbb magas szervesanyag tartalmú nyers-



9. ábra: TRV Zrt. működési területén mért haloecetsav eredmények

víz esetében ez a paraméter magas hőmérséklettel társul, így a technológiai sorban lévő ún. KOI szűrők tisztítási hatásfoka nem elegendő a megfelelő szintű prekursor eltávolításhoz.

## 2.2 Szervetlen klórozási melléktermékek

2023-tól az EU 2020/20184 sz. irányelve alapján új szabályozott komponensek – klorát, haloecetsavak – jelentek meg. Jelen fejezetben a klorátra, mint szervetlen klórozási melléktermékre fogunk kitérni. A klorát képződhet klorit és szabad aktív klór reakciójából, UV-t és klórt együttesen, valamint ózont alkalmazó

technológiák esetében, illetve nátrium-hipoklorit oldat bomlásának eredményeként is. Ebből kifolyólag azoknál a telepeknél, ahol a törésponti ammóniumeltávolítás NaOCl oldat adagolásával történik, várhatóan megnő a technológiáján mérhető klorát mennyisége. A hypo bomlását különböző tényezők – hőmérséklet, pH, koncentráció – befolyásolhatják.

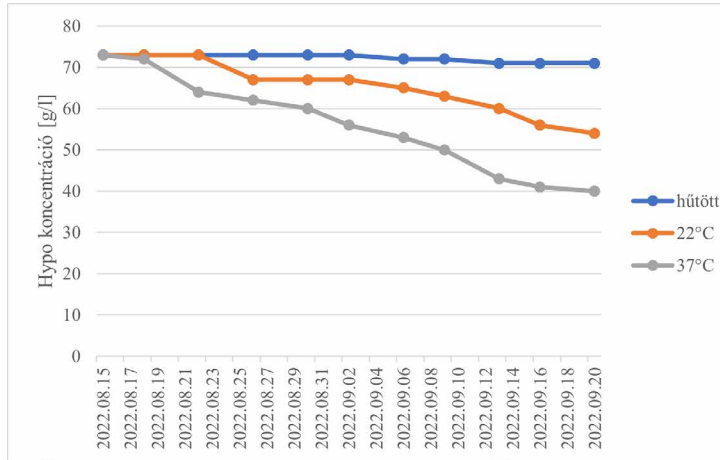
Ennek ismeretében elvégeztünk egy kísérletet, amely során a nátrium-hipoklorit oldat bomlását figyeltük meg különböző hőmérsékleteken. A kísérlethez felhasznált hypo oldat kiindulási koncentrációja 73 g/l volt. A beérkezett mennyiséget három

részre osztottuk, majd hűtőbe, illetve 22°C és 37°C termosztátba helyeztük a szétosztott részeket, hogy az állandó hőmérsékletet fenntartsuk. A minták koncentrációját öt héten keresztül, hetente kétszer mértük meg, melyek összefoglaló eredményeit a **4. táblázat**, valamint a **10. ábra** szemlélteti.

	hűtött [g/l]	22°C-on [g/l]	37°C-on [g/l]
<b>2022.08.15</b>	73	73	73
<b>2022.08.18</b>	73	73	72
<b>2022.08.22</b>	73	73	64
<b>2022.08.26</b>	73	67	62
<b>2022.08.30</b>	73	67	60
<b>2022.09.02</b>	73	67	56
<b>2022.09.06</b>	72	65	53
<b>2022.09.09</b>	72	63	50
<b>2022.09.13</b>	71	60	43
<b>2022.09.16</b>	71	56	41
<b>2022.09.20</b>	71	54	40

4. táblázat: A különböző hőmérsékleten mért hypo koncentrációk

A koncentrációk csökkenéséből feltételezhető a klorát értékének növekedése (mérőműszer hiányában erre nem volt mód). A kísérletből megállapítható, hogy a legmegfelelőbb tárolási megoldás a hűtött vegyszertárolás. Elengedhetetlen a fénytől védett, zárt, hűvös helyen tárolás, mivel az udvaron, technológián tárolt vegyszerek koncentrációja rohamosan csökken. A koncentráció romlás minőségvesztéshez vezet, amely befolyásolja a technológia tisztító hatásfokát, valamint a nem megfelelő koncentrációjú

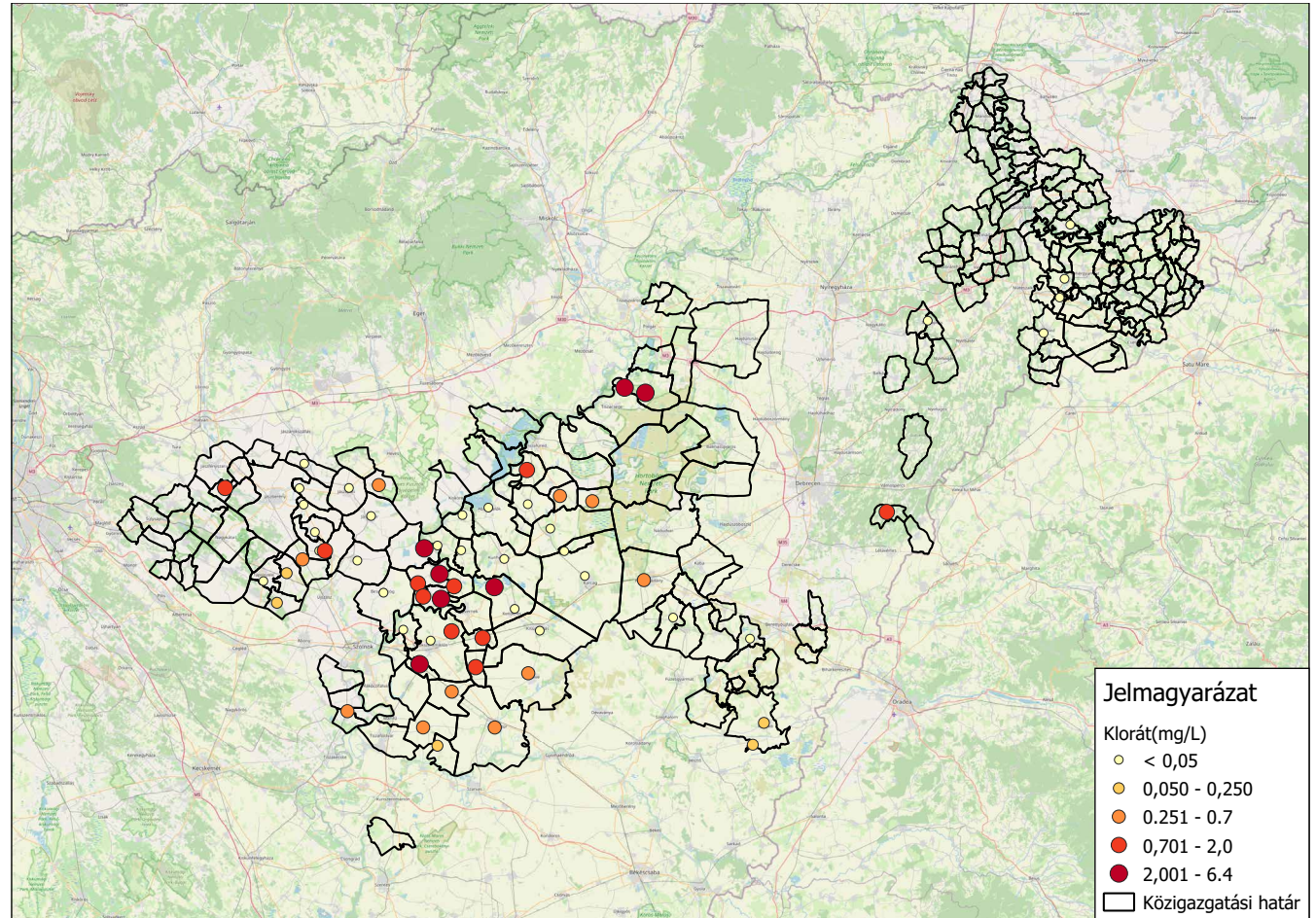


10. ábra: Eredmények grafikonos ábrázolása

vegyszerből több mennyiségre van szükség, ami nem vezet gazdaságos üzemeltetéshez.

A Társaság üzemeltetési területén lévő törésponti ammóniummentesítést alkalmazó ivóvíztisztító technológiák esetében mért klorát mérési eredményekről készült térképet a **11. ábra** szemlélteti. Látható, hogy tizenhét esetben mértek a 0,701- 6,4 mg/l tartományban, amelyek a 0,25 mg/l-es határértéket jelentősen túllépi. Tíz telep esetében a mért érték 0,251-0,7 mg/l között van, ami továbbra is meghaladja a megengedhető koncentrációt klorát tekintetében. 31 telep esetében nem tapasztalható határérték túllépés. A határérték túllépéssel rendelkező telepek mindegyike hypo-s törésponti technológiával rendelkezik.

Az 58 db telepből 27 esetében vegyszert szükséges váltani. Az elsődleges cél, hogy a töréspont klórgáz adagolásával legyen megoldva. Azoknál a technológiáknál, amelyek képesek kálium-permanganátos előoxidációra, ott az alkalmazott hypo oldatokat le szükséges erre váltani. Forráshiány miatt azonban a klórgáz kiépítése szinte mindegyik telep esetében gátolva van. Technológiai módosítás nélkül az előírt határértéket nem fogjuk tudni tartani. Továbbá az ivóvízminőség-javító programok alatt számos telep esetében nem került megfelelő vegyszertároló kialakításra, így az alkalmazott vegyszerek az udvaron, vagy a technológiai térben vannak tárolva. Mindezek következtében a kellő minőség biztosítása szinte lehetetlen.



11. ábra: TRV Zrt. működési területén mért klorát eredmények

## KONKLÚZIÓ

A megváltozott kormányrendelet számos üzemeltetési pluszfeladatot szabott ki a víziközmű szektorban dolgozókra. A TRV Zrt. a legjobb tudása szerint próbál lépést tartani szigorításokkal a vízminőség tekintetében.

Mikrobiológiai szempontból állást foglalva, véleményünk szerint a hypo ideje lejárt fertőtlenítés szempontjából. A leghatásosabb fertőtlenítőszer a kevert hatóanyag tartalmú vegyszerek, amelyek irreverzibilis fehérje denaturálódást eredményeznek, valamint oldják a peték kitin tartalmát is. Ugyanezen az elven működik maga a hőkezelés is. A társaság által beszerzésre került

mobil hőkezelő berendezéssel történő szűrőtartály fertőtlenítés a férgek (fonal- és egyéb férgek) tekintetében kellő tisztítási hatásokkal rendelkezik. Azonban bakteriológiai szempontból további vegyszeres kezelés szükséges a műtárgyakon. Mindezek ellenére a hőkezelést továbbra is hatékony és alkalmazható eljárásnak tekintjük az erősen férgekkel szennyezett szűrőtartályok esetében. Fontosnak tartjuk kihangsúlyozni, hogy bármely kezelés vonatkozásában általában az egyszeri kezelés nem elég, a ciklusságon van a hangsúly. Azonban itt is, mint mindenhol a legfontosabb a prevenció. A megfelelően karbantartott technológiáknál elkerül-

hető ezeknek az élő szervezeteknek rendszerbe jutása. Továbbá a mikrobiológiai szervezetek jelenléte nem csak önmagukban jelent problémát, hanem kihatással lehet a technológia kémiai tisztítási határfokára. A zöldhomok tölteteken, gáztalanítást alkalmazó technológiák esetében metanotróf baktériumok szaporodhatnak el, melyek CO<sub>2</sub>-t termelnek, ez pedig képes a töltet felületén lévő mangán visszaoldására.

Az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet leginkább a klórozási melléktermékek tekintetében jelent kihívást az üzemeltetőknek. A TRV Zrt. üzemeltetési területén lévő törésponti ammóniummentesítést alkalmazó ivóvíztisztító technológiák 43%-a kifogásolt valamely szerves vagy szervetlen klórozási melléktermék tekintetében. Szerves klórozási melléktermékek esetében azokat a vízbázisokat (magas hőmérséklet [ $>30^{\circ}\text{C}$ ], magas szervesanyag tartalom [ $>3\text{ mg/l}$ ]), melyek tisztítása bonyolult és költséges eljárással valószínűsíthető meg, felül szükséges vizsgálni. Ezeket a technológiákat üzemeltetni megfelelően nem lehet, szerves melléktermékek esetében mindenképpen nyersvíz oldalról kell megkezdeni a problémák elhárítását.

Szervetlen klórozási melléktermékek tekintetében a legnagyobb problémát a hypo oldatok alkalmazása jelenti. Megfelelő tárolási körülmények hiányában a kellő koncentrációk biztosítása nem megoldható, aminek következtében a klorát kifogásoltság állandó lesz. A hypo alkalmazó törésponti technológiáknál mindenféleképpen technológiát kell váltani. 58 telepből 26 telep esetében klórgázra szükséges átállni. Ennek kiépítése jelenleg forráshiány miatt gátolva van. Fontos megjegyezni, hogy nem csak a törésponti technológiáknál léphet fel a klorát kifogásoltság, minden nátrium-hipoklorit oldatot alkalmazó technológiát felül kell vizsgálni.

Összességében elmondható, hogy a Társaság az összes előtte álló feladatot kellő körültekintéssel megvizsgálta és számos probléma megoldására megalkotta a releváns megoldási tervet. Azonban az anyagi forrás hiánya számos megoldási tervet hátráltat. Beruházások hiányában az ellátás biztonsága erősen veszélybe kerülhet.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] WHO, "Guidelines for drinking-water quality, 4th ed., 7th chapter," 2021.
- [2] T. T. Mkandawire, R. K. Grencis, M. Berriman, and M. A. Duque-Correa, "Hatching of parasitic nematode eggs: a crucial step determining infection," *Trends Parasitol*, vol. 38, no. 2, pp. 174–187, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.pt.2021.08.008.
- [3] S. P. Denyera and G. S. A. B. Stewartb, "Mechanisms of action of disinfectants," 1998.
- [4] H. Biglari, M. Tatari, M. R. Narooie, G. Ebrahimzadeh, and H. Sharafi, "Data for inactivation of free-living nematode Rhabditida from water environment using ultraviolet radiation," *Data Brief*, vol. 18, pp. 30–34, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.dib.2018.02.074.
- [5] A. L. F. Kouam and G. A. Ajeagah, "Effect of natural disinfectant (*Moringa oleifera*) and a chemical disinfectant (calcium hypochlorite) on nematode eggs: Bioefficiency and impact of physico-chemical variables," *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, vol. 10, no. 2, pp. 335–346, Jun. 2020, doi: 10.2166/washdev.2020.001.
- [6] M. Riou et al., "Effects of cholesterol content on activity of P-glycoproteins and membrane physical state, and consequences for anthelmintic resistance in the nematode *Haemonchus contortus*," *Parasite*, vol. 27, 2020, doi: 10.1051/parasite/2019079.
- [7] "Methanotroph Commons Home Getting Started Wiki Forum Blog."
- [8] WHO, "Guidelines for drinking-water quality, 4th ed., 8th chapterquality," 2021.
- [9] N. Hamidin, Q. J. Yu, and D. W. Connell, "Human health risk assessment of chlorinated disinfection by-products in drinking water using a probabilistic approach," *Water Res*, vol. 42, no. 13, pp. 3263–3274, 2008, doi: 10.1016/j.watres.2008.02.029.
- [10] S. R. Bielmeier, D. S. Best, D. L. Guidici, and M. G. Narotsky, "Pregnancy loss in the rat caused by bromodichloromethane," *Toxicological Sciences*, 2001, doi: 10.1093/toxsci/59.2.309.
- [11] G. R. Klinefelter, J. D. Suarez, N. L. Roberts, and A. B. DeAngelo, "Preliminary screening for the potential of drinking water disinfection byproducts to alter male reproduction," *Reproductive Toxicology*, 1995, doi: 10.1016/0890-6238(95)02007-1.
- [12] S. D. Richardson, M. J. Plewa, E. D. Wagner, R. Schoeny, and D. M. DeMarini, "Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: A review and roadmap for research," *Mutat Res Rev Mutat Res*, vol. 636, no. 1–3, pp. 178–242, 2007, doi: 10.1016/j.mrrev.2007.09.001.
- [13] N. T. Program, "Report on the Carcinogenesis Bioassay of Chloroform (CAS No. 67-66-3)," *Natl Cancer Inst Carcinog Tech Rep Ser*, 1976.
- [14] E. Cemeli, E. D. Wagner, D. Anderson, S. D. Richardson, and M. J. Plewa, "Modulation of the cytotoxicity and genotoxicity of the drinking water disinfection byproduct Iodoacetic acid by suppressors of oxidative stress.Cemeli, E., Wagner, E. D., Anderson, D., Richardson, S. D., & Plewa, M. J. (2006). Modulation of the cytotoxicity," *Environ Sci Technol*, vol. 40, no. 6, pp. 1878–1883, 2006.
- [15] "Adattérkép." Accessed: Mar. 27, 2024. [Online]. Available: <https://adatterkep.com/korrelacios-matrix-excel-segitsegevel>



**NAGY NIKOLETTA**  
DMRV Zrt.  
műszaki főmunkatárs

nagy.nikoletta@dmrvzrt.hu

**KIVONAT:** A DMRV Zrt. működési területén, különösen a Duna Jobbparti Regionális Vízellátó Rendszeren a nyári csúcspozitív időszakokban – 2018 óta – többször szolgáltatás kiesés lépett fel, melyek közül a 2022. évi volt a legsúlyosabb és legkiterjedtebb. Ennek okai között döntően a rohamosan növekvő lakosságszám és a vízhasználati szokások jelentős változásai szerepelnek. Ezek kezelésére lokális megoldások fogalmazódtak meg, azonban átfogó rendszerfejlesztési stratégia nem került meghatározásra, mely hosszú távon is kielégítené a felhasználók mindenkori vízhasználati igényeit. A vízellátó rendszeren a távlati vízigények biztonságos kielégítéséhez szükséges kapacitásbővítő beruházások meghatározásához első lépésként fel kellett térképezni a rendszer jellemző és mértékadó üzemi állapotait hálózathidraulikai modellezés módszerének alkalmazásával.

**KULCSSZAVAK:** hálózathidraulikai modellezés, kapacitásbővítés tervezése, üzembiztonság növelése

## SZOLGÁLTATÓK SZEMÉVEL

# Rendszerfejlesztési stratégia kialakítása a DMRV Zrt. vízellátó rendszerén hálózathidraulikai modell alkalmazásával

## BEVEZETÉS

Magyarország nagy részén jellemző, hogy a települési vízigények csökkenő trendet mutatnak, mely folyamattal ellentétesen a DMRV Zrt. ellátási területén a vízfogyasztás nagyarányú növekedése tapasztalható. A DMRV Zrt. működési területén, különösen a Duna Jobbparti Regionális Vízellátó Rendszeren a rendszer-váltást követően az amúgy országszerte jellemző túlméretezett víztermelési- és vízelosztási kapacitások nem voltak megfigyelhetőek. A DMRV Zrt. működési területén a nyári csúcspozitív időszakokban az elmúlt években több alkalommal lépett fel szolgáltatás kiesés, melyek közül a 2022. évi volt a legsúlyosabb és legkiterjedtebb. A települések lakosszáma rohamosan növekszik, a vízhasználati szokások és mértékek jelentősen eltérnek az évtizedekkel ezelőtti trendektől, mely jelenséget tovább erősíti a vízdíjak alacsony mértéke is. Az extrém fogyasztású időszakokban jelentkező igényeket a meglévő vízellátó rendszer nem képes maradéktalanul kiszolgálni. A probléma oka egyrészt a termelési és vízátvételi kapacitás hiányra, másrészt a meglévő vízszállító és elosztórendszer kapacitáshiányára vezethető vissza.

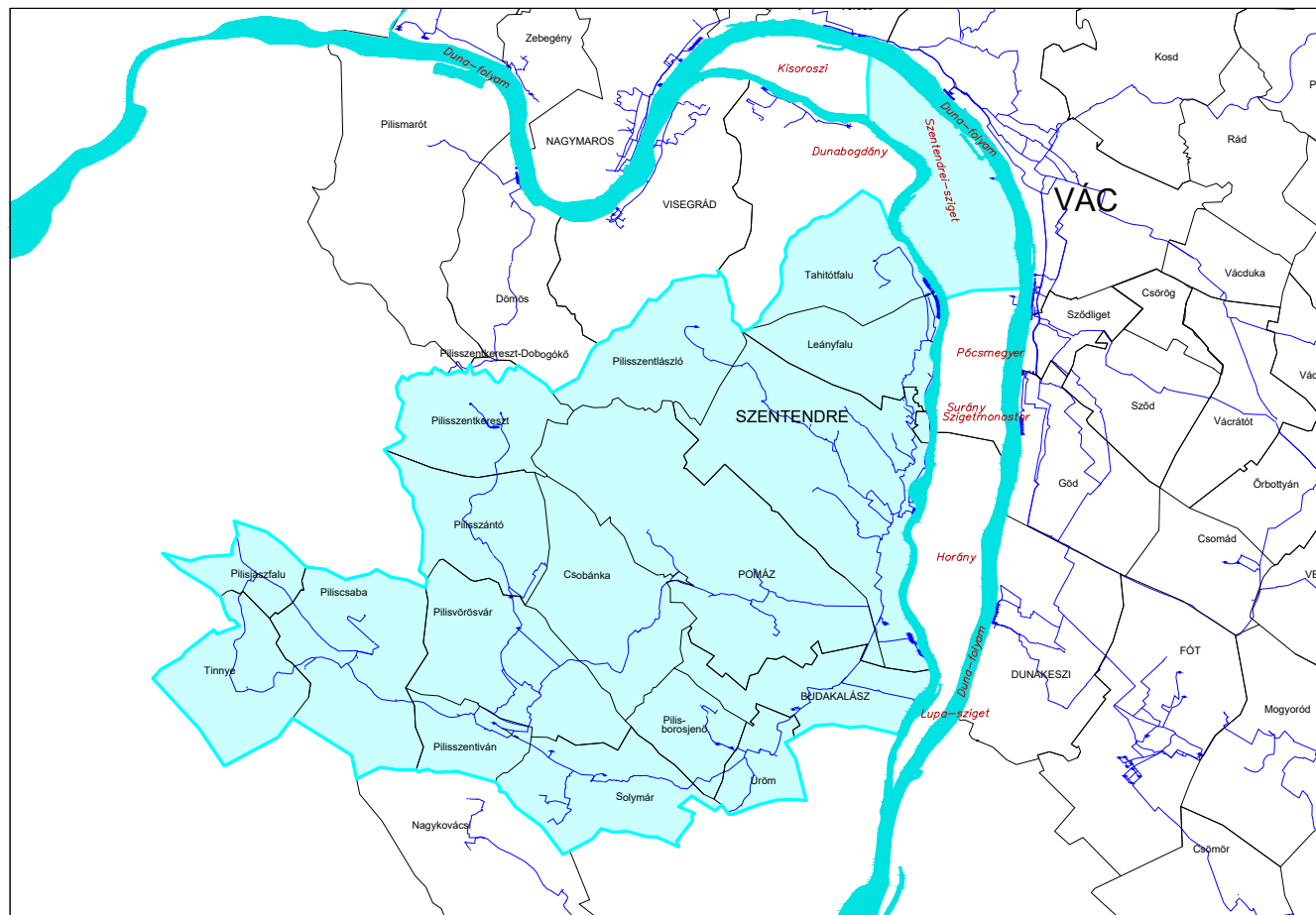
A távlati vízigények kielégítéséhez szükséges rendszerfejlesztési feladatok meghatározásához elengedhetetlen megismerni a rendszer jellemző és mértékadó üzemi állapotait, melyeket csak hidraulikai szimulációs modellező program alkalmazásával ismerhetünk meg.

## A RENDSZER FELÉPÍTÉSE

A Duna Jobbparti Regionális Vízellátó Rendszeren a 17 db település vízellátása a termelt és átvett vizekből egy regionális rendszeren keresztül valósul meg, az ellátási terület vízigénye parti szűrészű kutakkal, karsztkutakkal, illetve vízátvétellel biztosított.

## A MODELL FELÉPÍTÉSE, KALIBRÁCIÓJA

A meglévő vízellátó rendszer működése és a távlati vízmennyiségeknek megfelelő, fejlesztéseket is tartalmazó vízellátó rendszer hidraulikai modell (HCWP) segítségével került vizsgálat alá. A rendelkezésre álló AutoCad térképi állományból felülvizsgálatra és javításra kerültek a hálózat csomóponti kapcsolatai és nyomvonalai, az átmérők és anyagmegjelölések. A geodéziai adatok bevitelét – digitális, papír alapú térképek és egyéb térképészeti adatbázisok felhasználásával – követően betáplálásra kerültek a vízellátó rendszeren található gépházak, tárolók és kútadatok. A kalibráció főleg a DMRV Zrt-nél meglévő Folyamatirányító és Ellenőrző Rendszerből kinyert adatok, valamint a hálózaton található tűzcsapok nyomásértékeinek felhasználásával készült el. Ezeknek az adatoknak a modellel való összevetésével, egybevetésével ellenőrizhető a modell és a valóság közötti összefüggés. Természetesen a modell minél pontosabb kalibrációjához, hitelesítéséhez több adat és mérés szükséges, azonban a célkitűzéshez ez a szint is megfelelőnek bizonyult.



1. ábra: Duna Jobbparti Regionális Vízellátó Rendszer

## A MEGLÉVŐ VÍZELLÁTÓ RENDSZER ISMERTETÉSE - ÁTLAGOS FOGYASZTÁSI ÜZEMÁLLAPOT

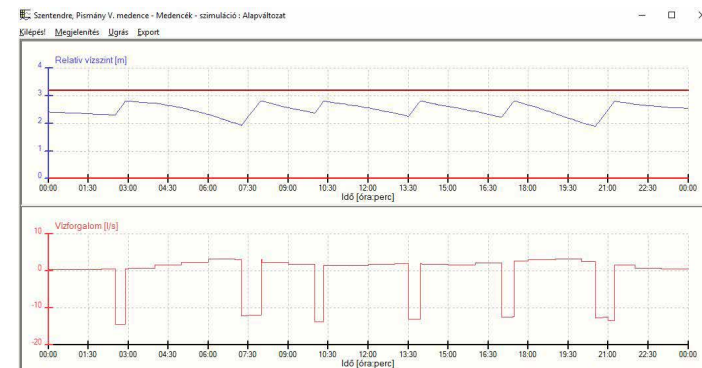
A vízellátó rendszer modellezéséhez, a rendszer működésének meghatározásához átlagos fogyasztási üzemállapot megismerése szükséges, mely által körvonalazódik a rendszer jellemző vízmozgása.

A térség ellátó hálózatán nem alakulnak ki vízhiányok, nem tapasztalhatók vízellátási zavarok, azonban vannak olyan elemek, melyek már a mindennapok során is kapacitásuk határán működnek. Ilyen a Csobánka regionális gépház és medence közötti DN300 azbesztcement vezeték, melyen 1,76 m/s sebesség alakul ki. Továbbá Szentendre, Pismány településrész tele-

pülésszerkezeti fejlődésének következtében a medencék napi hat alkalommal töltődnek és ürülnek le. Igaz ugyan, hogy ez a normál üzemmenetben nem jelent problémát, de egy jelentős műszaki meghibásodás javítása a településrészen szolgáltatási zavar nélkül nem elhárítható.

## MEGLÉVŐ RENDSZER – CSÚCSFOGYASZTÁSI ÜZEMÁLLAPOT

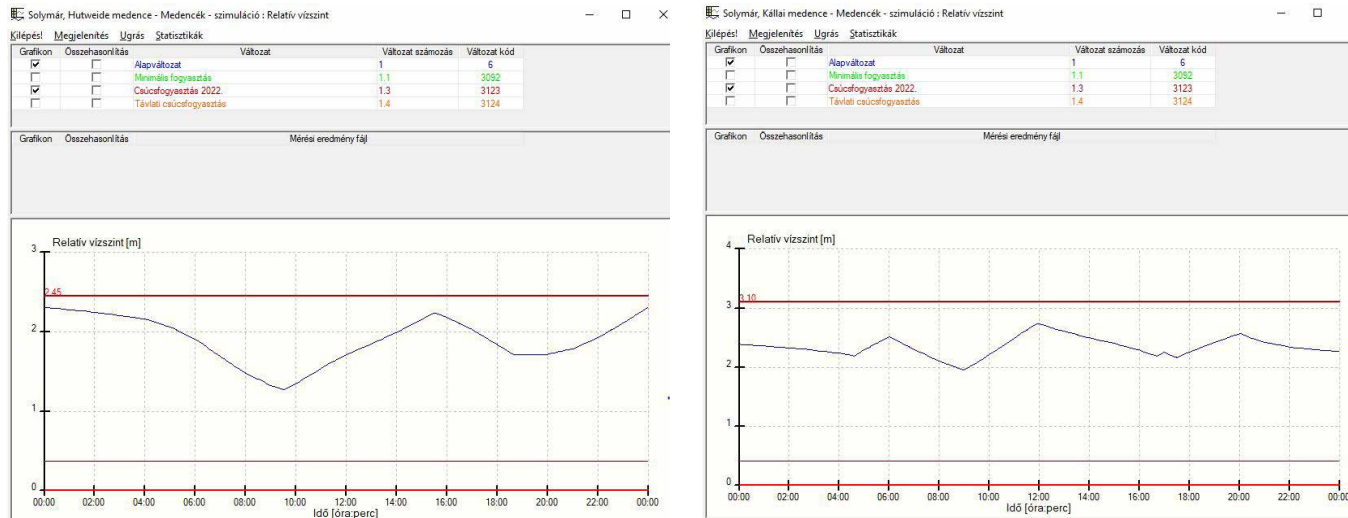
Csúcsfogyasztási üzemállapotban a víziközmű-infrastruktúra, azon belül is az ivóvízellátó rendszer nem tudja kielégíteni a növekvő igényeket. A települések hálózatai egy regionális vízellátó rendszer részeként működnek, a regionális fővezeteki rendszerhez



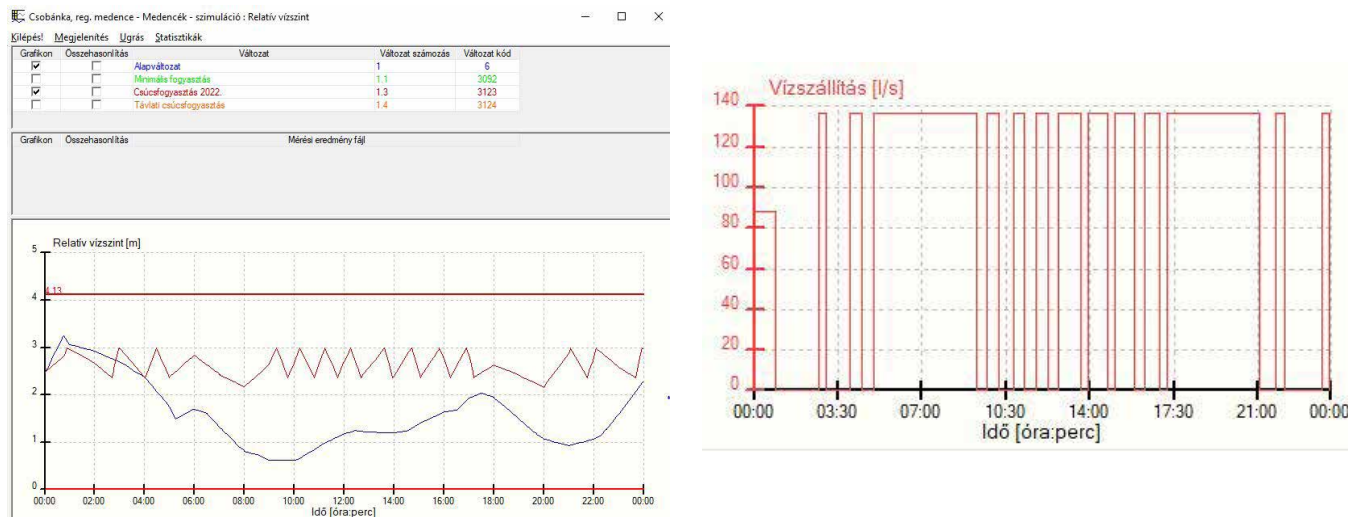
2. ábra: Szentendre, Pismány V. medence napi vízszintváltozása

kapcsolódnak, így többé-kevésbé együttesen érintettek az ivóvízellátásban és a felmerülő vízellátási zavarokban. A lakosságnak szolgáltatott ivóvíz mennyisége 2013-2022 között évente átlagosan 9,65 %-kal emelkedett, ami meghaladja az állandó népesség növekedési dinamikáját. Ebben javarészt az 1 főre eső átlagos napi vízfogyasztás mértékének emelkedése játszik közre. Az 1 főre eső átlagos napi vízfogyasztás a térségre összevontan 2014-2022 közötti években a 120 l/fő/nap értéket többször is meghaladta, 2022-ben fogyasztási csúcserték jelentkezett Üröm településen 202,2 l/fő/nap értékben. A hosszan tartó, meleg nyári időszakokban a vízfogyasztás extrém módon megemelkedik, melyet a vízellátó rendszer nem képes kiszolgálni. Ennek eredményeképp vízellátási zavarok léptek fel Solymár, Szentendre - Pismány térségében, Szarvashegy településrészen, Pilisborosjenő és Üröm településeken, melyek a rendszer egészének kapacitáskorlátaira vezethetők vissza. Ezt a modellezéssel is sikerült visszaigazolni.

A csobánkai tárolómedencék térfogata 2x400 m<sup>3</sup>, mely érzékenyen reagál a térségi rendszer vízigényeinek változására, kiegyenlítő hatása korlátozott. A csobánkai gépház és csobánkai medencék közötti DN300 azbesztcement regionális vezetéken kialakuló sebességek a 2022. évi csúcsfogyasztási üzemállapotban elérik a 2,0 m/s értéket, ezért a vezeték bővítése elengedhetetlen a jövőben.



3. ábra: Solyvár, Hutweide és Kállai medence töltöttségi szintje átlag-és csúcsfogyasztási üzemi állapotban



4. ábra: Csobánka medencék napon belüli vízszintváltozása, valamint a gépház napi üzeme csúcsfogyasztáskor

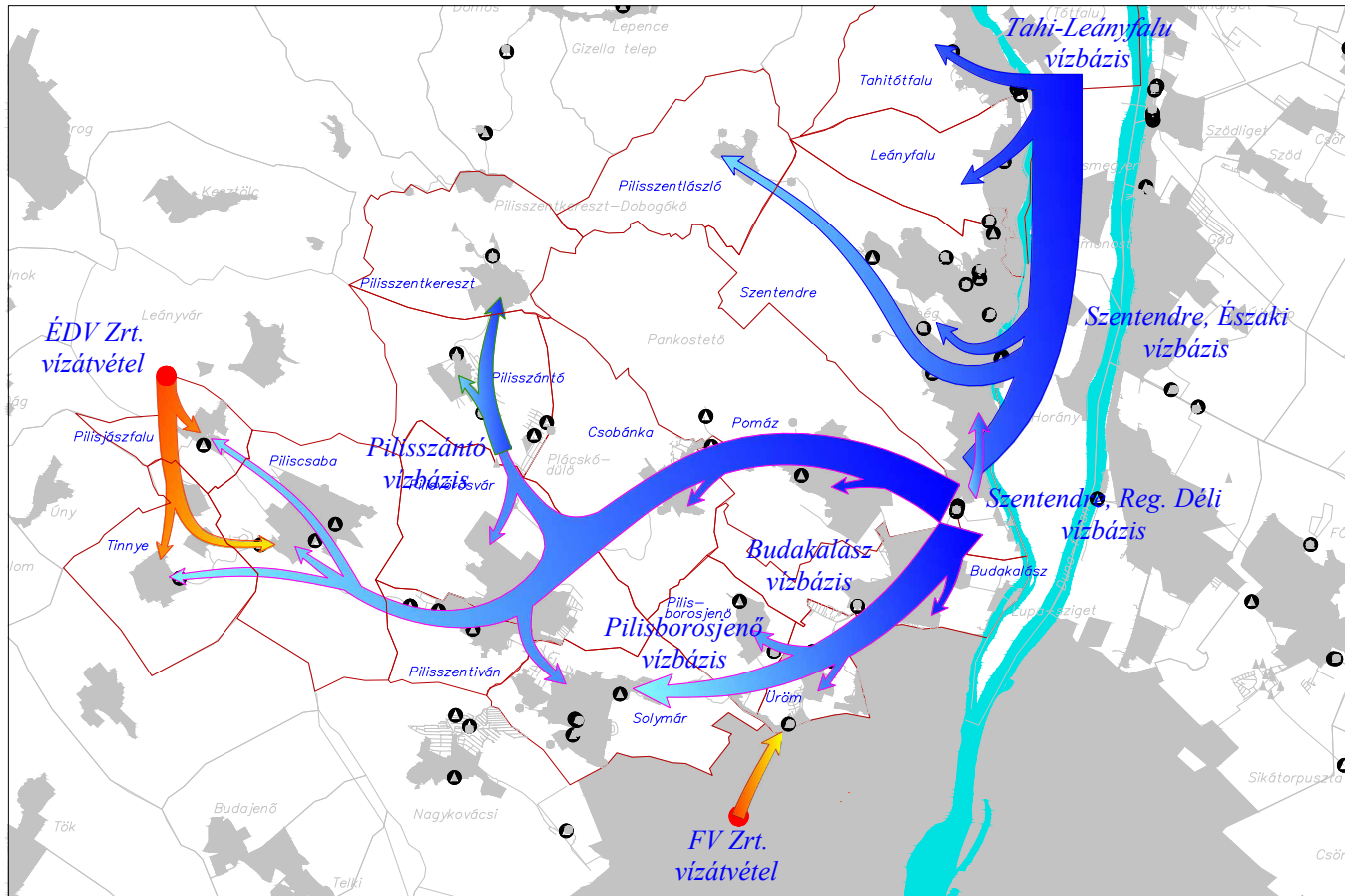
A csúcsfogyasztási üzemi állapot eredményei is azt mutatják, hogy a jelenlegi vízellátó rendszer nem felel meg a követelményeknek, ezért beavatkozások szükségesek a regionális rendszer vonatkozásában. A megnövekedett vízigények nyári csúcsfogyasztási időszakban jelentkező többletterhelésének kezelése csak a víztermelő és vízellátó rendszer kapacitásbővítésével valósítható meg, továbbá a regionális rendszer jellegéből adódik, hogy annak fejlesztése csak teljes egészében lehetséges, nem korlátozódhat az egyes települések főművi elemeire.

### TÁVLATBAN SZÜKSÉGES FEJLESZTÉSEK

A Duna Jobbparti Regionális Vízellátó Rendszer 17 településének átlagos napi vízfelhasználása 33.000 m<sup>3</sup>, ebből közel 28.000 m<sup>3</sup> a három Duna-parti vízbázis termelése. Az ellátási arány mértéke a dunai vízbázisokról kb. 90 %-os, tehát a felszín-közeli vízbázisok adják az ellátás gerincét.

A távlatban szükséges vízfogyasztások, vízigények meghatározásához prognózis készült a 2050-ig terjedő időszakra, melyhez az alapadatok a Központi Statisztikai Hivatal adatbázisából, és üzemeltetői adatszolgáltatásból származnak, továbbá az érintett önkormányzatok esetében a tervezett távlati lakócélu fejlesztéseket vettük figyelembe. A prognózis eredményeként a 17 településre összevontan 58.180 m<sup>3</sup>/d csúcsvízigény jelentkezik, mely a meglévő víztermelő kapacitások fejlesztésével nem biztosítható. A vízbázisok fejlesztésére vonatkozóan külső szakcég bevonásával készült egy tanulmány, melyben a fejlesztések eredményeként lehetőség nyílik az 55.000 m<sup>3</sup>/d kapacitás térbeli, az igényekhez időben is jól igazodó vízmennyiség kitermelésére. A kitermelt többlet vízmennyiség rendszerbe táplálása, vízkormányzása, tárolása érdekében a regionális rendszer teljes körű megújulása szükséges, mely a meglévő elosztóhálózat, gépészeti berendezések és víztárolók kapacitás növelését jelenti.

A távlati vízigények modellbe történő betáplálásánál láthatóvá váltak a vízellátó rendszer kapacitáskorlátai, mely probléma orvoslása „kézi” számítási módszerek és a szimulációs program együttes alkalmazásával történt. A kapacitásbővítés hatására a medencék nem ürülnek le, illetve a napi vízigény ellátása során sem tapasztalható olyan periódus, melynél a rendszer részleges



5. ábra: Vízforgalmi ábra

leürülése lenne tapasztalható.

Az elképzelés szerint 7 650 m<sup>3</sup> többlet tárolókapacitással bővíül az ellátó rendszer. A fővezetési hálózatot érintően pontos meghatározásra került az átmérő növelést igénylő szakaszok hossza, a modellben mintegy 40 km hosszban szükséges a hálózat bővítése. Az áttemelő gépházak szivattyúzási kapacitásainak meghatározása során kirajzolódott, hogy 9 db gépház esetén van szükség fejlesztésre.

A beruházások előzetesen becsült költsége 25.925.125.000,- Ft, mely a koncepció részletes tervek nélküli beárazását jelenti.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A hálózat hidraulikai modellezés használata elengedhetetlen egy fővezetési rendszer kapacitásbővítési feladatainak meghatározásánál, hisz a teljes rendszer vizsgálata nélkül megbízhatóan nem határozható meg az új létesítmények szükséges, jellemző paraméterei. A meglévő és tervezett rendszer analízise, felülvizsgálata során, a kapott eredmények alapján egy olyan szintű rendszerfejlesztési stratégia kidolgozására nyílt lehetőség, mely a napi üzemeltetés optimalizálását is elősegíti.

A fejlesztési elképzelésben szereplő műszaki megoldások úgy a térségi víztermelésben, vízkormányzásban és tárolásban, mint a települési hálózatok ellátásában megoldást kínálnak az ellátási területen jelenleg élő mintegy 200 000 felhasználó és az ott működő intézmények, gazdasági egységek biztonságos ivóvíz ellátására.

VÍZIPAR SZEMÉVEL

# PE csőhálózatok létesítése

**MÁRIALIGETI BENCE**  
főszerkesztő  
Vízű Panoráma

[marialigeti.bence@maviz.org](mailto:marialigeti.bence@maviz.org)



Rendhagyó szekción vehettek részt az idei Víziközmű Konferencián azok, akik a „Csőrendszerek hegesztéstechnikája” címet viselő szekcióra ültek be. Ahelyett, hogy az egyes ipari szereplők saját termékeiket és technológiájukat népszerűsítő előadásait hallgatták volna, azt tapasztalták, hogy a versenytársak összefogva, közösen vezették be a hallgatóságot az elektrofúziós csőrendszerek titkaiba és buktatóiba. Ennek az előadásnak a háttéréről kérdeztem az alkalom motorját, Kazsik Gábort, a Paor Víz Ker. Kft. ügyvezetőjét.

(Az előadást a szerkesztőség címére írva postafordultával elküldjük az érdeklődőknek)

**MB: Ekkora a baj? Avagy mi vezetett oda, hogy a versenytársak összefogjanak és közösen adjanak elő?**

**KG:** A Víziközmű Konferencia szervezője, a MaVíz támogatásával lehetőséget kaptunk arra, hogy a már megismert rendszer szerinti háromszor húsz perces előadás helyett egy hosszabb, összefüggő előadást tartsunk. Így jött létre „PE csőhálózatok létesítése: mit, miért és hogyan” című prezentáció, melyet három vízipari szereplő (Rozsanyai Kálmán, FGF Bt.; Nagy Balázs, Aliaxis Hungary Kft.; és Jómagam), egy üzemeltető (Balogh Zoltán, BÁCSVÍZ Zrt.), egy szakértő (Séra István) és egy egyetemi docens (dr. Fülöp Roland) tartottunk.

Részünkről, piaci szereplők részéről az volt ennek az apropója, hogy mindhárman, bár a hétköznapiakban versenytársként, de évtizedek óta foglalkozunk műanyag csővezetékrendszerek, elsősorban polietilén elektrofúziós idomok értékesítésével. Az elmúlt években nagyon sokszor találkoztunk a piacon olyan megvalósult alkalmazásokkal, amikor valamilyen hiba merült fel, jobb esetben a kivitelezés során (még a szerelésnél vagy a nyomáspróbánál), vagy rosszabb esetben már a kivitelezés után az üzemeltetési időszakban. Kivétel nélkül minden esetben azt kellett megállapítanunk, amikor is az értesítést követően a megrongálódott idomot megvizsgáltuk, hogy a kivitelezésnél valamilyen szakmai, műszaki hiba okozta a kötések meghibásodását. Sajnos legtöbb esetben a megrendelők, felhasználók nem szívesen fogadják el ezt a véleményt és inkább hátat fordítanak ennek a technológiának, vagy éppen az alkalmazott gyártmánynak. Ez volt mindhárom ipari szereplő egyöntetű tapasztalata. Ennek kapcsán arra jutottunk, azt ismertük fel, hogy közösen kell tegyünk valamit annak érdekében, hogy ez a technológia továbbra is megőrizhesse méltó helyét az iparágban. Szerettük volna ezt az előadást úgy felépíteni és kibővíteni, hogy ne csak mi kereskedelmi képviselők szólaljunk meg, ezért felkértünk három szakértőt is. Egyikük egy több évtizedes üzemeltetői múlttal rendelkező vízmű üzemeltetési igazgató, Balogh Zoltán személyében a BÁCSVÍZ Zrt.-től, a másik Séra István szakértő, aki ilyen jellegű hibás kötések elemzésével, vizsgálatával, szakértésével foglalkozik, a harmadik pedig

dr. Fülöp Roland, a Műszaki Egyetem docense. Utóbbi két urat többször kértek már fel ilyen jellegű vizsgálatok lefolytatására, ill. az Egyetem szerepe meghatározó az oktatásban is.

**MB: Felmerül bennem a kérdés, hogy ez a téma miért csak az idom forgalmazókat foglalkoztatja, a csőforgalmazókat pedig nem?**

**KG:** Jó a kérdés. Azt gondolom, hogy a csőforgalmazók mindenképp eladják a csőveiket. Nem azért, mert ügyesebbek, mint mi, hanem azért, mert azokat a csőveket akkor is felhasználják, ha nem elektrofúziós technológiát alkalmaznak, hanem tompehegesztéssel kapcsolják össze az elemeket. Az előadásunkban szót ejtettünk természetesen arról, hogy mi a hasonlóság és különbség a két eljárás között. A csőveket természetesen lehetőség van mechanikus kötőelemmel is összekapcsolni, de ez jóval költségesebb, illetve így elveszíti az alapanyag, a polietilén a hegesztés során létrejövő legfontosabb előnyeit: homogenitás, húzásbiztosság, szivárgásmentesség. Természetesen a csőgyártókat is felkérhettük volna, de a rendelkezésünkre álló idő határokat szabott, ezért döntöttünk a három legnagyobb piaci szereplő összefogása mellett.

**MB: Ebbe most talán nem érdemes belemennünk, abba azonban annál inkább, hogy miért is ilyen meghatározó csőanyag a PE?**

**KG:** A legfontosabb tulajdonsága a rugalmassága ill. az, hogy homogén csőrendszer hozható belőle létre, hiszen a rendszer minden eleme - legyen szó csőanyagról vagy idomról -, ugyanabból az alapanyagból készül és mindegyik hegesztéses, elektrofúziós technológiával kapcsolódik az öt megelőző és követő rendszerlemhez. Nincsen tehát szükség más alapanyagú, akár öregedő alkatrészek vagy segédanyagok alkalmazására, mint pl. csavar vagy gumitömítés. Magának a PE-nek bizonyítottan minimum 50 éves élettartama van, de különböző mesterséges öregítési eljárások segítségével a várható élettartamát ideális üzemeltetési körülmények között 100 évre taksálják. Az elektrofúziós

technológiával minden segédanyag és speciális idom nélkül önmagában húzásbiztos kötések jönnek létre. Egy jól elvégzett hegesztés szilárdsága olyan nagy, hogy a tönkremenetel pl. egy szakítópróba során nem az idomnál lesz, hanem attól megfelelő távolságra maga a cső kezd el megnyúlni, majd elszakadni. Szilárdsága, stabilitása bizonyított, az üzemeltetési tapasztalatai egyértelműen pozitívak, hiszen egy sima belső felületű csőanyag-ról beszélünk, mely nem porózus, nem érdes, könnyen tisztítható, jól ellenáll a lerakódásokkal szemben, könnyen fertőtleníthető és üzemeltethető.



1. ábra: egy jól elkészített kötés szilárdsági vizsgálata

A sok pozitív tulajdonság alapértelmezetté vált, nem arra fókuszálunk, hogy mennyi előnye van ennek az alapanyagának, hanem főleg az építőiparból, kivitelezői szektorból azt látjuk, hogy sokszor nem szívesen dolgoznak ezekkel az idomokkal, adott esetben konkrétan egy adott gyártmánnyal egy korábbi rossz tapasztalás miatt. Amikor ezeket a meghibásodásokat megpróbáljuk felkutatni, utánajárni, kinyomozni, hogy mi volt ezek oka, akkor az esetek 100%-ban nem gyártás- vagy anyaghibára bukkanunk, hanem valamilyen, a beépítés, az előkészítés, a szerelés, illesztés vagy a hegesztés folyamata során létrejött hibáról, mulasztásról

beszélhetünk. Az előadásban is megemlítettük, hogy természetesen azt egyik gyártó sem állítja, hogy az általa szállított idomok között nem lehet hibás termék. Természetesen lehet és bár nagyon ritkán, de előfordul ilyen. Viszont a termékhibák olyan természetűek, hogy ezen termékek beépítése nem is lehetséges, mivel a probléma a hegesztés megkezdését megelőzően kiderül. Mondok néhány példát: Sérült példának okáért az idom vonalkódja, nem lehet leolvasni, ebben az esetben nem lehet hegeszteni. Ha hiányzik a csatlakozója, az egyik vagy mindkettő, szintén nem hegeszthető. Kiderülhet, hogy a fitting fűtőszála szakadt vagy sérült. Ebben az esetben sem lehet hegeszteni. Ez nem feltétlenül jelent huzalhibát, ez jelenthet huzal és hegesztési csatlakozó illesztésénél meglapuló hibát, de a végeredmény itt is az, hogy nem hegeszthető. Ami még elő szokott fordulni, hogy a hegesztési folyamat elindításra kerül, beolvassák a vonalkódot, a hegesztőgép felismer egy ellenállás értéket a vonalkód alapján és mér is egyet az adott idomnál is. Ha a két érték eltér egymástól, akkor szintén nem engedi a hegesztést a gép. Ez természetesen kellemetlenséget okozhat a kivitelezőnek, mert ki kell szerelnie a már összeépített kötések és be kell tennie egy másik fittinget a helyére. De sok tízezer, vagy százezer darabból fordul elő egy-egy ilyen hibás termék. Ami viszont a legfontosabb, hogy ezekből a hibákból nem alakulnak ki sem építés közben, sem nyomáspróbáknál, és ami a legfontosabb, az üzemeltetés közben sem meghibásodások.

**MB:** Melyek hát azok a fontos előírások, melyek betartása olyan kardinális?

**KG:** A tervezésre vonatkozóan a szabványok, az előírások, a szerelési, beépítési útmutatók, a termék katalógusok rendelkezésre állnak, amik mind a termék anyagminőségét, nyomásfokozatát, befoglaló méreteit, és minden további szükséges információt tartalmaznak. Ez a tervező számára elérhető. A kivitelezésre vonatkozó pályázati kiírásokban viszont azt tartanánk fontosnak, ha megjelenne benne, mint elvárás az, hogy csak hegesztői vizsgálával és gyakorlattal rendelkező személy végezhet hegesztéseket. Azt tapasztaljuk ugyanis, hogy Magyarországon több ezer hegesztőgép került forgalomba az elmúlt évtizedekben. Régebben egy-egy hegesztőgép értékesítésekor képzést, bemu-

tatót, tréninget tartott az értékesítő cég az ügyfél és az ügyfél munkatársai részére, hiszen nem nagyon ismerték korábban a technológiát, nem nagyon volt kitől a fogásokat ellesni. Manapság azonban, amikor ez a sok hegesztőgép folyamatosan és egyre szélesebb körben dolgozik a piacon, a személyzet változik: jön egy új alkalmazott, a régi elmege, azonban az információ, a tudás megkopik, lényeges részek kimaradnak a tudásátadásból. Tudják például, hogy meg kell hántolni a cső felületét, de azt nem tudják, hogy ha valaki sarokcsiszolóval munkálja meg a cső felületét, akkor az nem megfelelő hántolásnak minősül. Ha tudja is, hogy központosan 50-50%-os megosztásban kell betolni a karmantyú belsejébe a két csővéget, az jó dolog, de ha nem figyel arra, hogy feszültség mentesen illessze a csöveket, abból probléma lehet. Fokozottan figyelni kell a ferde cső darabolásra. Ugyanis a ferde cső darabolás esetén a fűtőszálak nem fognak érintkezni a cső palástjával, mikoris túlhevülés jöhet létre, ami balesetveszélyes is. Azt tapasztaljuk, hogy ezek a legjellemzőbb hibák az előkészítés, ill. a szerelés során, amiken változtatni kellene. Vannak cégek Magyarországon, akik oktatással, tréninggel foglalkoznak, de mi forgalmazók is igyekszünk ebben a témában bemutatókat, előadásokat tartani a szerelők részére. Azt tapasztaljuk, ha eljutunk egy ilyen előadás, oktatás megtartásához, annak a végeredménye minden alkalommal pozitív. Mi örülünk, ha segíthetünk, mert az hosszútávon a technológia helyes alkalmazását és fennmaradását biztosítja, az ügyfél, a hegesztő, szerelő részéről pedig megint csak



2. ábra: hibásan elkészített hegesztés szilárdsági vizsgálata

jó, mert megszűnnek a bizonytalanságai és magabiztosabban, precízebben dolgozik.

**MB: Az előadásban szóba került a kezelés, tárolás fontossága. Ezekről mit érdemes tudni?**

**KG:** Minden egyes gyártónak van saját technológiai utasítása, alkalmazási útmutatója, kinek hogy tetszik, ugyanazt jelentik, ezek 95% feletti átfedésben vannak egymással. Pl. egy elektrofúziós idomot mindig sértetlen, bontatlan csomagolásban, fénytől, nedvességtől, sugárzó napsütéstől védeni kell tárolni, zárt helyen. Ehhez képest, ha a munkaterületre kikerkezik az áru raklapon, jó esetben van rajta valamilyen fólia, rosszabb esetben le sincs takarva és ázik, megy rá a hó, ráolvad, tönkremegy a kartondoboz, szétázik, levisz róla mindent a szél, tűzi a nap a terméket, deformálódik, a felhasználási ideje pedig lényegesen lecsökken és kockázatosabb is válik. De ezt nem nagyon szokták mérlegelni. Ugyanez a helyzet a PVC csövek tekintetében. Korábban még a szürke PVC csöveket alkalmazták, melyek kint az udvaron vártak a sorsukra a szabad ég alatt. Emiatt aztán kiszáradtak, fehér csöveket építettek be, melyek nyilvánvalóan elveszítették rugalmasságukat, rideggé váltak, sokkal rövidebb idő alatt elfáradtak és tönkrementek és robbanászerű csőtöréseket okoztak. Ezzel nagyjából ugyanaz a helyzet. A csöveket általában közvetlenül a gyárból szállítják a munkahelyre, munkaterületre. Ott azok tárolása nem biztosítható úgy, mint a fittingeké, de nem is kell őket évekig tárolni, mert akkor viszik ki a munkaterületre, amikor beépítik. Minden esetben szükséges pl. meghántolni ezeket a csöveket az oxid réteg eltávolítása céljából, amit ugye a fűtőszál nélküli hosszú PE idomokon is el kell végezni, de az elektrofúziós idomok belső részének oxid réteg eltávolítására nincsen semmilyen lehetőség. Ezért kell a tárolás során biztosítani, hogy ezek mindig perforált, zárt zacskóban, karton dobozban, fénytől és nedvességtől védett térben kerüljenek elhelyezésre. A minőség megőrzése a csöveknél abban rejlik, hogy a csövek deformitását akadályozzák, illetve előzzék meg a szállítást, a rakodást és a tárolást ideje alatt.

**MB: Korábban már említetted, hogy fontosnak tartjátok, hogy a beruházásoknál legyen feltétel a megfelelő képesítés megléte. Van más jól körülhatárolható elvárás?**

**KG:** Valóban fontos lenne megkövetelni, hogy képzett hegesztő szakemberek legyenek foglalkoztatva a kivitelezőknél. A gyakorlat azonban azt mondhatja velünk, hogy nemcsak a pályázati kiírásban kell ennek meglétét megkövetelni, hanem a kivitelezés teljes folyamatában ellenőrizni. Hiszen sok esetben az alvállalkozói láncolatokon keresztül, vagy a nagy számú párhuzamos munkafolyamat miatt a tényleges munkavégző már nem biztos, hogy rendelkezik az elvárt szaktudással.

A másik szempont azonban -és ez válasz a kérdésre-, hogy igen, van még elvárható feltétel. Ez pedig magának a hegesztő berendezésnek a megfelelősége és az általa minden hegesztésről készített dokumentáció megkövetelése, valamint az alkalmazott szerszámok megfelelő műszaki állapota

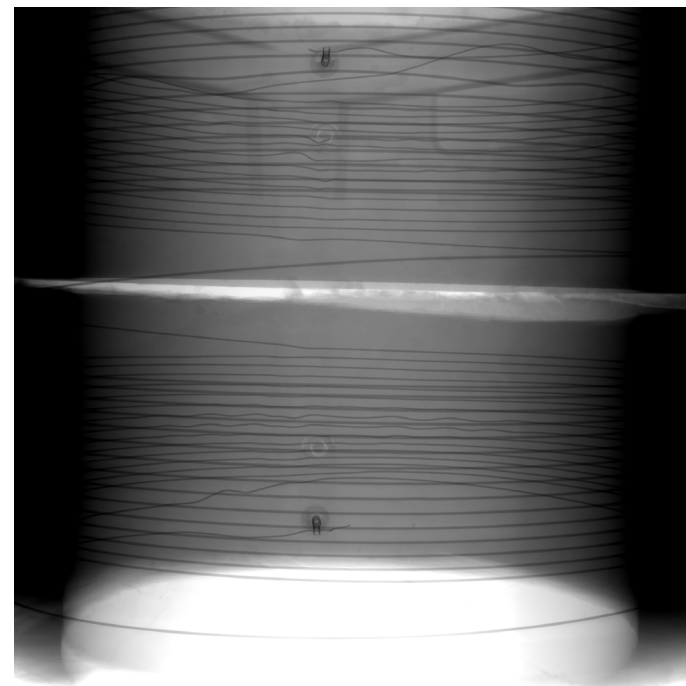
Manapság a hegesztő berendezések mindegyike dokumentálja a hegesztés folyamatát, úgymint az alkalmazott idom típusát, méretét, a hegesztési időt, hűlési időt, környezeti hőmérsékletet, egyéb információt, de ami a legfontosabb, dokumentálja, hogy a hegesztés során volt-e valamilyen hiba. Ilyen lehet például az okáért az ellenállási hiba, a túl alacsony feszültség, a fitting fűtőszál szakadás és még több egyéb más hiba.

Minden hegesztőgépet évente kalibrálni kell és a megjelent új szoftver frissítéseket el kell végezni. Ez alapkövetelmény, amit gondolom, nem kell magyarázni. De ha a beruházó megköveteli minden hegesztésről a gép által készített jegyzőkönyvet, akkor abból kiderül, hogy maga a gép megfelelő volt-e, azaz érvényes-e még a kalibrációja.

**MB: Mennyire deríthető ki utólag egyértelműen az, hogy egy hibás kötésnél miből ered a hiba?**

**KG:** Sok esetben már szemrevételezés alapján megállapítható a hiba oka. A fitting és cső csatlakozásánál látni, hogy a hántolás megfelelően történt-e. Látszik, hogy milyen szerszámot használtak hozzá és azt megfelelően tették-e. Ha ebben nem találunk hibát, akkor egy kivágott kötésbe bele lehet nyúlni, bele lehet látni és akkor érezhetjük, hogy a két homlokél, a két csővég hogyan illeszkedik egymáshoz. Itt azt kell nézni, pontosabban érzékelni, hogy középen van-e a karmantyúban a két csővég, látni, hogy feszültség alatt lett-e beépítve, van-e benne iránytörés. Ha ezek mind rendben lennének, a fitting fűtőszál nem sérült és nem volt

benne fűtőszál vándorlás a feszültség miatt, akkor ellenőrizhető a fűtőszál folytonosság, mérhető utólag az ellenállás érték. Amennyiben ezt is rendben találjuk, akkor roncsolásos vizsgálatot lehet végezni. Ez azt jelenti, hogy a csőtengellyel párhuzamosan néhány mm vastagságú szeleteket vágnak ki a cső - fitting - cső testből és ezeket hajlító ill. szakító vizsgálatnak vetik alá. Amennyiben a felületek megfelelően elő voltak készítve, meg voltak munkálva, akkor a hegesztett felületek nagyon nehezen válnak el egymástól, nyúlik, mint a rágógumi. Ha viszont például szennyezett volt, vagy nem volt az oxid réteg megfelelően eltávolítva, akkor egy merev törés, hideg pattanás jön létre, és egyszerűen leválik anélkül, hogy bármilyen homogenitás lenne látható. A válasz tehát az, hogy egyértelműen meghatározható utólag is a meghibásodás oka. És mindez labortól, gyártótól függetlenül elvégezhető. Természetesen vannak korszerűbb technológiák is, ahogyan ez el is hangzott dr. Fülöp Roland úr előadásában. Léteznek már röntgen technológiák, CT alkalmazások is, ahol meg tudják nézni roncsolás nélkül azt is, hogyan helyezkednek el a fűtőszálak. A gyakorlat azonban azt mutatja, hogy alapvetően a



3. ábra: elektrofúziós hegesztésről készült röntgen felvétel

klasszikus mechanikai vizsgálatok tökéletes választ adnak arra, hogy mi lehetett a probléma.

**MB:** Eddig az előadásotok, a közös fellépés szempontjai inkább a kivitelezőket, beruházókat érintették és bemutattad nekünk, hogy milyen szempontok mentén lenne érdemes ennek a kiváló csőanyagnak a respektjét visszaállítani. De mi a helyzet az üzemeltetőkkel? Van-e valamilyen tapasztalat, üzenet az ő irányukba?

**KG:** Köszönöm a kérdést, és természetesen igen, hiszen Magyarországon a gerinchálózatok 15.67% a (2019-es adat) ebből a csőanyagból épült, ahogyan arról az előadásunkban is beszélünk. Mindenképp fontos tehát erről a kérdéstről is beszélünk.

Azt látjuk, hogy az üzemeltető cégeknél is szükséges lenne a csőanyaggal és az elektrofúziós eljárással kapcsolatos ismereteket felfrissíteni, átadni. Azt látjuk, hogy bár az idősebb generáció oktatása megtörtént, de ahogyan telt az idő, a fluktuáció és a nyugdíjba vonulások miatt a kezdetben megszerzett információ és tapasztalat csak részben ment tovább, került átadásra. Volt olyan üzemeltető, akinél pont az előadás kapcsán tartottunk oktatást és nagyon jól visszaköszönt ez az elmélet. A résztvevők hamar feloldódtak és kifejezetten örültek nemcsak az információknak, hanem annak is, hogy van ki a kérdéseiket megválaszolja.

Egy szó, mint száz, az üzemeltetők részére az elektrofúziós hegesztés elvégzésére szóló tanfolyam és az ismétlődő oktatások komolyan vételét javasoljuk. Az esetek jó részében ezeket a gyártók ingyen vagy minimális költség mellett elvégzik.

Ami még fontos az üzemeltetők részére, hogy ezek az ismeretek, ezek az oktatások nemcsak azoknak fontos, akik a javítást, a hegesztést végzik, hanem legalább ilyen fontos a beruházás előkészítéssel, műszaki ellenőrzéssel foglalkozó kollégák részére.

**MB:** Köszönöm a beszélgetést.

# Jövőbiztos hidraulika, kiváló hatékonyság

Grundfos SP6" búvárszivattyú



[www.grundfos.hu](http://www.grundfos.hu)

**GRUNDFOS** 



DR. KIZLINGER ANDRÁS  
értékesítési igazgató  
BAKONYKARSZT Zrt.

kizlinger.andras@bakonykarsztrt.hu

AKTUÁLIS

## A kiberbiztonsági szabályok Európai Unióban egységesen magas szintű szabályairól, különös tekintettel a NIS2 irányelvre

Az Európai Unióban a kiberbiztonság egyre inkább a figyelem középpontjába kerül, mivel a digitális infrastruktúrák sebezhetősége egyre nagyobb veszélyt jelent a gazdaságra és a társadalomra. A 2010-es évektől kezdődően hihetetlen mértékben felgyorsult a gazdaság és társadalom digitális átalakulása, ez pedig új lehetőségeket és egyben új kihívásokat teremtett a kibertámadásokhoz. A technológiai fejlődés olyan fokú, hogy ma már az életünk minden területén - napi szinten - a digitális technológiára támaszkodunk. A távmunka, az online vásárlás, az online kapcsolattartás, online bankolás gyakorisága meredeken emelkedik. Mára bebizonyosodott, hogy igaza volt azoknak a szakembereknek, akik már a GDPR alkalmazása előtt hangosan az éterbe „kiáltották”, hogy „a legfőbb érték az adat”. Mindenki-ben tudatosult, hogy annak érdekében, hogy a napi ügymenet, munkafolyamat, de legfőképpen a védett adataink biztonságban legyenek, bizony aktív, tevőleges magatartást követel tőlünk adatgazdáktól. A hálózatokra és az információs rendszerekre nagymértékben támaszkodó, ebből következőleg a kibertámadásoknak leginkább kitett területek közé tartozik különösen az egészségügy, közlekedés, energetika, távközlés valamint a nekünk legfontosabb terület, az ivóvízszolgáltatás.

Az EU korán felismerte, hogy az adatainkra a digitalizációval egyre nagyobb veszély leselkedik. 2004-ben létrejött az Európai Unió Kiberbiztonsági Ügynökség (ENISA). Az ügynökség szervezetekkel és vállalkozásokkal együttműködve törekszik arra, hogy növekedjen a digitális gazdaságba vetett bizalom, az uniós infrastruktúra ellenállóképesebb legyen, és végső soron az uniós

polgárok nagyobb biztonságban legyenek a kberszférában.

2016-ban az EU megalkotta a NIS1 irányelvet, amely különösen a belső piac működése szempontjából fogalmazott meg fontos kibervédelmi szabályokat.

Sajnos a rohamtempóban fejlődő technológia gyorsan elkerülte a jogszabályi előírásokat, a kibervédelmi előírások pár év elteltével már „idejétmúlttá” váltak. Az ENISA jelentése szerint 2022-2023-as évet összehasonlítva 52%-kal nőtt a zsarolóvírusok száma, 28%-kal a DDOS támadások száma és 20%-kal a az adatokkal való visszaélések száma.

E kihívásokra válaszul az EU bevezette a NIS2 irányelvet, amely a hálózati és információs rendszerek biztonságának növelését

tűzte ki célul. Ez az új irányelv a 2016-ban bevezetett NIS1 alapjaira épül, de jelentős fejlesztéseket tartalmaz, amelyek az uniós kiberbiztonsági képességek fokozását szolgálják.

A NIS2 irányelv célja, hogy biztosítsa az Unió kritikus infrastruktúráinak védelmét a növekvő kiberfenyegetésekkel szemben. Ez különösen fontos olyan alapvető szolgáltatások esetében, mint az ivóvíz- és szennyvízszolgáltatás, amelyek zavara súlyos következményekkel járhat az emberek mindennapi életére és a közegészségügyre nézve. Az irányelv előírja, hogy az érintett ágazatokban működő szervezetek fokozott kiberbiztonsági intézkedéseket vezessenek be, beleértve a rendszeres auditokat és a felelős személyek kijelölését.

### Kiberbiztonsági felügyelet – érintett szervezetek



Forrás: sztfh.hu

A NIS2 jelentős újítást hoz azzal, hogy szigorúbb szabályokat és követelményeket vezet be a kiberbiztonság területén. Az új irányelv megköveteli, hogy minden érintett szervezet azonosítsa a lehetséges kockázatokat, és hatékony kockázatkezelési intézkedéseket alkalmazzon. Ezek az intézkedések nemcsak a belső rendszerek védelmét szolgálják, hanem a beszállítói láncok biztonságát is garantálják, amelyek kulcsfontosságúak a működés folyamatosságának biztosításában.

Az irányelv további fontos eleme, hogy a szervezeteknek jelenteniük kell a kibertámadásokat az illetékes hatóságoknak. A jelentéstételi kötelezettség szigorú, 72 órás határidőt ír elő, ami biztosítja, hogy a hatóságok időben értesüljenek a fenyegetésekről, és megtehessek a szükséges intézkedéseket.

A NIS2 2024. október 18-án élesedik, akkor indul EU-szerte a felügyeleti és ellenőrzési tevékenység. A vállalkozásoknak év végéig (december 31-ig) kell szerződést kötniük olyan auditorral, amely átvilágítja a kiberbiztonsággal kapcsolatos tevékenységüket. **Majd 2025. december 31-ig le kell folytatni az első kiberbiztonsági auditot**, ami azt jelenti, hogy a vállalatoknak szoros ütemtervet kell követniük a megfelelés érdekében.

Magyarországon a NIS2 irányelv bevezetését a 2023. évi XXIII. törvény és az ezt követően hatályba lépő rendeletek szabályozzák. Ezek a jogszabályok biztosítják, hogy az irányelv előírásai megfelelően beépüljenek a nemzeti jogrendbe, és a magyarországi szervezetek is eleget tegyenek a szigorú kiberbiztonsági követelményeknek.

Összességében a NIS2 irányelv jelentős előrelépést jelent az uniós kiberbiztonsági szabályozásban. Az új szabályozási keret célja nemcsak a kiberbiztonsági fenyegetések elleni védekezés megerősítése, hanem a vállalatok jogszabályi megfelelésének javítása is. A megfelelő kiberbiztonsági intézkedések bevezetése és a rendszeres auditok elvégzése hozzájárulhat a szervezetek hosszú távú biztonságához és rezilienciájához, miközben erősíti az Unió kiberbiztonsági képességeit is.

# VÍZMŰ PANORÁMA

A Magyar Víziközmű Szövetség szakmai lapja



Engedjen szabad utat az információ áramlásának!

Nincs más dolga, csak felkeresni a  
[www.maviz.hu/vizmu-panorama](http://www.maviz.hu/vizmu-panorama) weboldalt  
 és máris lapozhatja a víziközmű-ágazat nélkülözhetetlen szaklapját!

TOLNAI BÉLA  
okl. gépészmérnök  
BioModel Bt.

tolnaibela51@gmail.com

SZAKMÁNK MEGALAPOZÓI

# DARCY, Henry Philibert Gaspard (1803 – 1858)

FRANCIA MÉRNÖK



Henry Philibert Gaspard Darcy 1803. június 10-én született Dijonban. Apja hivatalos segéd volt, aki korán, 1807-ben, mikor Darcy csak 14 éves volt meghalt. Édesanyja gondoskodott a gyerekek taníttatásáról.

1821-ben az Ecole Polytechnique diákja lesz Párizsban. Két évvel később felveszik az Ecole Ponts et Chaussées intézetbe. Az

iskola az Imperial Corps des Ponts et Chaussées (Hidak és Utak Birodalmi Társaság) részeként működött. Végzés után automatikusan alkalmazták a Társaság dijoni részlegénél

1828-ban megnősül. Felesége Henriette Carey, született angol Guernesey szigetéről. Boldog házasságban élnek, gyermekük nem született.

Előbb szülővárosa Dijon, később Párizs jelöli fő állomásait ragyogó karrierjének. Dijon vízellátásának megteremtése - beleértve a tervezést is- volt minden bizonnyal életének fő műve. 1828-ban egy mélyfúrású kút építésébe kezdtek, azonban nem tudtak elegendő vizet nyerni a város számára. A kudarc után Darcy első sorban saját ötleteire támaszkodva felvázolta a város megbízható vízellátásának lehetőségét. Erőfeszítéseinek köszönhetően végül kiépült a rendszer. A víztermelés a 8 m<sup>3</sup>/min termelőkapacitású Rosoir forrásból történt. A kitermelt vizet 12,7 km hosszú fedett aqueductus vezeték szállította az 5700 m<sup>3</sup> osztófogatóú tárolómedencéig. Az elosztó hálózat 2800 m hosszú volt, amely a

vizet a legfontosabb épületek és a 142 db közkút között osztotta el. A gravitációs rendszerben szivattyúzásra nem volt szükség.

A dijoni vízellátás megteremtése volt Darcy első sikeres projektje, amelyet még számos követett. Dijonban és környékén épített utat, hidakat, szennyvízcsatornákat és vasúti alagutakat. Emellett nagyon aktív tevékenységet fejtett ki Dijon város önkormányzatában is.

1848-ban a Cote-d'Or szakosztály főmérnöke lesz, de politikai nyomásra távoznia kell Dijonból. Hamarosan azonban magasabb pozícióba kerül, Párizsban a „víz és az útburkolatok” igazgatója lesz, de kutatásokkal is foglalkozik. Éles szemű megfigyeléseit és néhány általa kidolgozott elméletet a Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux (Kísérleti vizsgálatok csőben áramló vízre vonatkozólag) című könyvében tette közzé. E vizsgálatok vezettek a Darcy-Weisbach képlethez.

Megalkotta a Pitot-cső tökéletesített változatát, és ő volt az első áramláskutató, aki felvetette a határréteg fogalmát az áramló folyadékok esetében.

1855-ben gyenge egészségi állapota következtében már nem tud állandó munkát, szolgálatot vállalni. Megengedték neki, hogy visszatérjen Dijon-ba, hogy saját belátása szerint folytassa kutatásait. Híres szivárgási törvényét - a porózus közegben áramló gáz vagy folyadék áramlási sebességét meghatározó alapvető összefüggését - empirikus úton 1856-ban állította fel. A Darcy-féle szivárgási törvény később az elméletben és a gyakorlatban is helyesnek bizonyult.

A Ponts et Chaussées mérnökeinek sorában - akik nagymértékben hozzájárultak a XIX. századi francia hidraulikai iskola megteremtéséhez - Henri Philibert Gaspard Darcy minden bizonnyal megérdemli, hogy az egyik legelőkelőbb helyet foglalja el.

1858. január 3-án útban Párizs felé váratlanul tüdőgyulladásban halt meg. Dijonban temették el felesége és anyja mellé.

NEVÉT VISELI:

**Darcy képlet**

a csővezetékek veszteségének számítása

$$h' = \frac{1}{d} \left( \alpha'' + \frac{\beta''}{d} \right) v^2 \quad \text{öntöttvas csőre}$$

$$h' = \frac{1}{d} \left[ \left( \alpha + \frac{\beta}{d^2} \right) v + \left( \alpha' + \frac{\beta'}{d} \right) v^2 \right] \quad \text{miden csőre}$$

ahol  $l$  vezeték hossz [m]  
 $d$  csőátmérő [m]  
 $v$  folyadéksebesség [m s<sup>-1</sup>]  
 $\alpha, \beta, \alpha', \beta', \alpha'', \beta''$  mérési állandók

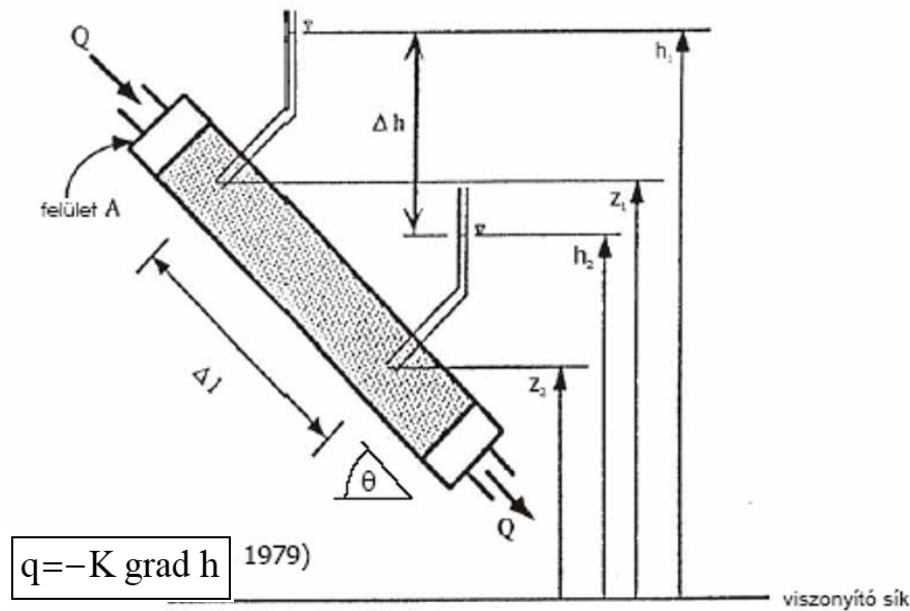
**Darcy-féle súrlódási tényező a Darcy-Weisbach képlethez**

Darcy óta jelöljük  $\lambda$ -val a csősúrlódási tényezőt

$$\lambda = f_{\text{Darcy}} = \frac{2gh' d}{v^2 l}$$

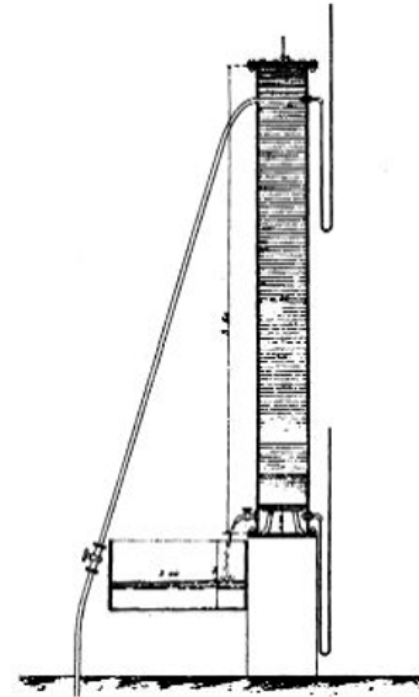
ahol  $h'$  nyomáskülönbség [N m<sup>-2</sup>]  
 $g$  nehézségi gyorsulás [m s<sup>-2</sup>]  
 $v$  sebesség [m s<sup>-1</sup>]  
 $d$  átmérő [m]  
 $l$  hossz [m]

## Darcy-féle szivárgási törvény



ahol **h** hidraulikus nyomás [m],  
**grad h** hidraulikus gradiens [-]  
 $q = \frac{Q}{A}$  Darcy sebesség [ $\text{m s}^{-1}$ ]  
**K** szivárgási tényező,  
 hidraulikai vezetőképesség [ $\text{m s}^{-1}$ ]  
 (folyadék- és közegjellemző)

## Darcy-féle szivárgási tényező



Darcy kísérleti berendezése a „K” szivárgási tényező méréshez.  
 Gondosan tanulmányozta a homokkal töltött csöveken áthaladó víz áramlási viszonyait, mert azt tervezte, hogy kidolgozza a homokszűrési víztisztítás technikáját.

## FORRÁS

1. *La Houille Blanche, Grenoble, 1955.*
2. <https://www.coursehero.com/file/10101566/biosystems-okstate-edu-darcy-laloi-basics/>
3. <http://www.edge.ou.edu/hydrogeology/page8.html>