

# Hírsatorna

A MAGYAR VÍZ- ÉS SZENNYVÍZTECHNIKAI SZÖVETSÉG LAPJA  
2024/3. szám



**DECENTRALIZÁLT SZENNYVIZTISZTÍTÁS  
ÉS AKTUALITÁSOK A VIZIKÖZMŰ  
SZOLGÁLTATÁS TERÜLETÉN**

# LEGYEN ÖN IS TAGJA A SZÖVETSÉGNEK

## Szakmai érdekképviselet

Szövetségünk kezdeményező és tevékeny módon képviseli a hazai vízügyi ágazatot. Valódi szolgáltatást végző, független szakmai szervezetként, támogatást nyújtunk a települési vízgazdálkodás területén dolgozó szakemberek munkájához (oktatás, tervezés, gyártás, építés, szak-, területi-, önkormányzati igazgatás, szakképzés, üzemeltetés területén dolgozók).

Stratégiai együttműködéseket alakítunk ki és működtetünk, hazai társszervezetekkel, szövetségekkel, érintett kormányzati szervezetekkel, a tagszervezeteink közé tartozó önkormányzatokkal és hatóságokkal, mellyel megteremtjük egy összehangolt ágazati érdekképviselet alapját. Felvállaljuk a települési vízgazdálkodás témakörébe tartozó aktuális szakmai kérdések tisztázását, ajánlások megfogalmazását.

Tudásátadás programunkon keresztül megismertetjük a szakmát a legkorszerűbb és leghatékonyabb megoldásokkal.

Hírcsatorna magazinunk negyedévente bemutatja az ágazat legfontosabb történéseit, és a tudásátadás programmal összehangolt, igényes publicisztikákkal jelenik meg.

Tudástárunk több száz szakmai prezentációt és szakanyagot tartalmaz.

## Szakmai együttműködő partner

A MaSzeSz, mint széleskörű szakmai kapcsolatrendszerrel és tudással rendelkező független nonprofit szakmai szervezet kiváló együttműködő partner, konzorciumi tag, pályázatok és pilot projektek megvalósításában.

Nemzetközi kapcsolatainkat tagjaink szakmai fejlődése, kapcsolati hálójának szélesítése és üzleti lehetőségeik bővítése érdekében kamatoztatjuk.

Konferenciáink, jelenléti rendezvényeink, lehetőséget biztosítanak találkozásokra a szakmai partnerekkel és potenciális üzletfelekkel.

## Vízérték képviselet– társadalmi kommunikáció

Célunk, hogy a víz értékét, és az e mögött álló szakmai munka presztízsét társadalmi szinten elfogadtassuk, és innovatív módon, szakmai alaposággal, következetesen képviseljük a fenntarthatóság szempontjait, és a körforgásos gazdaság megteremtésének fontosságát.

## Kedvezmények

MaSzeSz tagként korlátlan hozzáférést szerez Tudástárunkhoz.

Jelentős kedvezményeket nyújtunk a Hírcsatornában megjelenő hirdetésekhez, és a Tudásátadás Programban való megjelenésekhez.

Jelenléti rendezvényeinket ugyancsak számottevő kedvezménnyel tudja látogatni.

# IMPRESSZUM

**A Magyar Víz –és Szennyvíztechnikai Szövetség online folyóirata**

1118.Budapest, Rétköz utca 5.

**Kiadó:** MaSzeSz

**Kiadásért felel:** Rózsa Bálint (főtitkár)

**Főszerkesztő:** Papp Mária

**Szerkesztő:** Göttlinger Dóra

**Fordítások:** Rózsa Bálint

**ISSN 3057-8418 (Online)**

**Szerkesztőbizottság tagjai:** Buzás Kálmán, Csörnyei Géza, Garai György, Géczy Ágnes, Jobbágy Andrea, Karches Tamás, Kiss Katalin, Licskó István, Laky Dóra, Makó Magdolna, Patziger Miklós, Vadkerti Edit, Varga Laura  
Megjelenik negyedévente

**Grafika és tördelés:** Zsiráf Kreatív Ügynökség

# TARTALOM

Beköszöntő	4
<b>SZAKMAI - TUDOMÁNYOS ROVAT</b>	
A decentralizált szennyvíztisztítás és a vízgyűjtő-gazdálkodás kapcsolata <i>Láng István, Molnár Márta, Hegyi Róbert, Devecseri Mátyás - Országos Vízügyi Főigazgatóság</i>	5
Települési szennyvízkezelés helyzete és természetközeli szennyvízkezelési lehetőségek a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság működési területén	22
Negyedik fokozat a gyakorlatban – Svájc és Németország az élmezőnyben <i>Bezsenyi Anikó, Nagy-Mezei Csenge, Makó Magdolna</i>	37
A szennyvízzel a felszíni vizekbe kerülő gyógyszermaradványok környezettoxikológiai értékelése <i>Nagy-Mezei Csenge, Bezsenyi Anikó, Gyarmati Imre, Kardos Levente</i>	60
Két évtizede zárult a Svájci Államszövetség Kormányának Magyarország környezeti állapotának javítását szolgáló államsegélye igénybevételével a nyíregyházi szennyvíztisztítási projekt <i>Boda János</i>	81
Az EKR rendszerben rejlő vízműves lehetőségek Hogyan tegyünk szert extra profitra az üzemeltetésben? <i>Bartók Pál</i>	98
IVÓVÍZBIZTONSÁGI TERVEZÉSI TAPASZTALATOK A KÖZÖSSÉGI IVÓVÍZELLÁTÁST BIZTOSÍTÓ SAJÁT CÉLÚ IVÓVÍZMŰVEKBEN <i>Gaál Zoltánné</i>	106
Szervetlen arzénformák elválasztás-technikái: módszerek és gyakorlati alkalmazásuk szerepe az ivóvízkezelésben <i>Biró Barbara, Rácz András János</i>	111
A MICROBI technológia kialakulása és fejlődése: Néhány marék géltől a konténerizált szennyvíztisztító technológiáig <i>Kloknicer Tamás, Sándor Dániel Benjamin, Dr. Szabó Anita</i>	121
<b>ÁGAZATI HÍREK</b>	
MÉRLEGEN AZ EU TAGSÁG 20 ÉVE Számvetés, felkészülés a jövőre a települési vízgazdálkodásban	132
Új főtitkár a Szövetségben	134
Megemlékezés – Dr. Solti Rezső	135
18. Ivóvízbiztonsági konferencia – 2024. október 2.	137
Fejlesztések a Szövetség Tudástárában, Hírcsatorna archivumban	138
<b>KÉPZÉSI AJÁNLÓ - ESEMÉNYEK</b>	
Az Óbudai Egyetem hirdeteménye	139

A megjelentetésre szánt írásművek, hirdetések, csak nyílt (nem minősített) információkat és adatokat tartalmazhatnak. Ezek minősített voltát a Szerkesztő Bizottság nem vizsgálja, ennek felelőssége a cikk szerzőjé, valamint a hirdetőt terheli.

## BEKÖSZÖNTŐ

### KEDVES OLVASÓK!



Vége a hosszú meleg nyárnak és talán az elkövetkező időszakban kicsit „hűvösebb,” környezetben lehetőség lesz arra, hogy szakmai témákkal is találkozjon a kedves Olvasó.

A szakma számára mindig fontos, de mégis parciális vidék a **decentralizált szennyvíztisztítás**. Többféle elnevezéssel találkozhatunk ezen a területen - egyedi szennyvíztisztítás-természet közeli szennyvíztisztítás.

Magyarország kis települések országa (2000 LE) és a szakma egyértelmű véleménye, hogy indokolt és elengedhetetlen lesz ezzel a kérdéskörrel is foglalkozni az elkövetkező időszakban. A **bevezető cikk** témája a **decentralizált szennyvíztisztítás** összekapcsolva a vízgyűjtő gazdálkodás kérdéseivel, érintve a rendszerek gazdaságossági, hatékonysági feltételrendszerét.

**Bizakodunk, hogy a vízügyi szakigazgatás 2024 évi átalakulásával ez a terület is elindul a fejlődés útján, behozva több évtizedes lemaradását.**

A továbbiakban **Dél–Dunántúl** helyzetével ismerkedhet meg az Olvasó.

Itt a települések szerkezete országos viszonylatban is aprófalvas területnek tekinthető, ahol a **decentralizált szennyvíztisztítás mind szakmailag, mind gazdaságilag indokolt.**

A szakemberek sok érdekes megoldást, javaslatot ismertetnek a cikkben.

A települési szennyvízkezelésről **szóló 91/271 EKG irányelv módosítása** nehéz helyzet elé állítja a hazai szennyvíztelepek jelentős részét. A cikk szerzői a **4. tisztítási fokozat** megvalósítását számos német és svájci példán keresztül mutatják be.

Remélhetőleg hamarosan elindul Magyarországon a **Svájci Államszövetség által finanszírozott „Vízminőség javítása Magyarországon”** - nevet viselő program, melynek keretén belül lehetőség nyílik a **„szennyvízzel a felszíni vizekbe kerülő gyógyszermaradványok csökkentésére”**.

**Ivóvízminőség-javító program** keretén belül számos **arzenmentesítési vízkezelési technológia, megoldás** ismert. Jelen esetben a szerzők egy csapadékképző/koagulációs eljárást mutatnak be az arzéntartalom határérték alá történő csökkentésére.

További érdekes szakmai kérdéseket követően az olvasó egy kísérleti megoldásról is olvashat: szennyvíztisztítás **„mikro méretű bio film hordozóanyag létrehozása”** modell felállításával..

Sajnos az idei nyár is szomorú hírrel zárult, a szakma egyik meghatározó kollégájától Dr. Solti Dezsőtől kellett búcsút vennünk.

Annak reményében, hogy sikerült a nyári hónapokban egy kis energiát összegyűjteni, mindenkinek kellemes olvasást kívánok.

Dr. Papp Mária  
főszerkesztő

# A DECENTRALIZÁLT SZENNYVÍZTISZTÍTÁS ÉS A VÍZGYŰJTŐ-GAZDÁLKODÁS KAPCSOLATA

Láng István\*, Molnár Márta\*, Hegyi Róbert\*, Devecseri Mátyás\*

\*Országos Vízügyi Főigazgatóság

## BEVEZETÉS

Szakmai beszélgetéseken, konferenciákon és az egyetemi oktatásban is, amikor szennyvíztisztításról van szó, akkor gyakran korlátozódik a téma a nagy tisztítótelepekre, csatornázásra és a közműolló aktuális állására. Érdeemes azonban észben (és közbeszédben) tartani olyan alternatív lehetőségeket, mint a decentralizált szennyvíztisztítás, mely megfelelően alkalmazva képes a környezet és emberi egészség védelmét a nagy közműves rendszerekkel azonos szinten garantálni.

Decentralizált szennyvíztisztítás alatt olyan rendszereket értünk, amelyek helyi szinten, kisebb léptékben kezelik a szennyvizet, és általában olyan helyeken valósulnak meg, ahol központosított nagy szennyvíztisztító telepekre gazdaságtalan lenne gyűjteni a szennyvizet, például a terület ritkánlakottsága, vagy szezonálisan megjelenő terhelése miatt. Ezekben az esetekben a decentralizált rendszerek használata lehetővé teszi a felszíni befogadó elhagyását, illetve a tisztított víz előntözéssel, szikkasztással történő újrahasznosítását. A talajba történő tisztított víz elszivárogtatására vonatkozó minőségi követelmények ugyanakkor megegyeznek az egyes térségekben a befogadó vízfolyásokra érvényes előírásokkal. Az európai uniós szaknyelv ezeket egyedi rendszereknek nevezi.

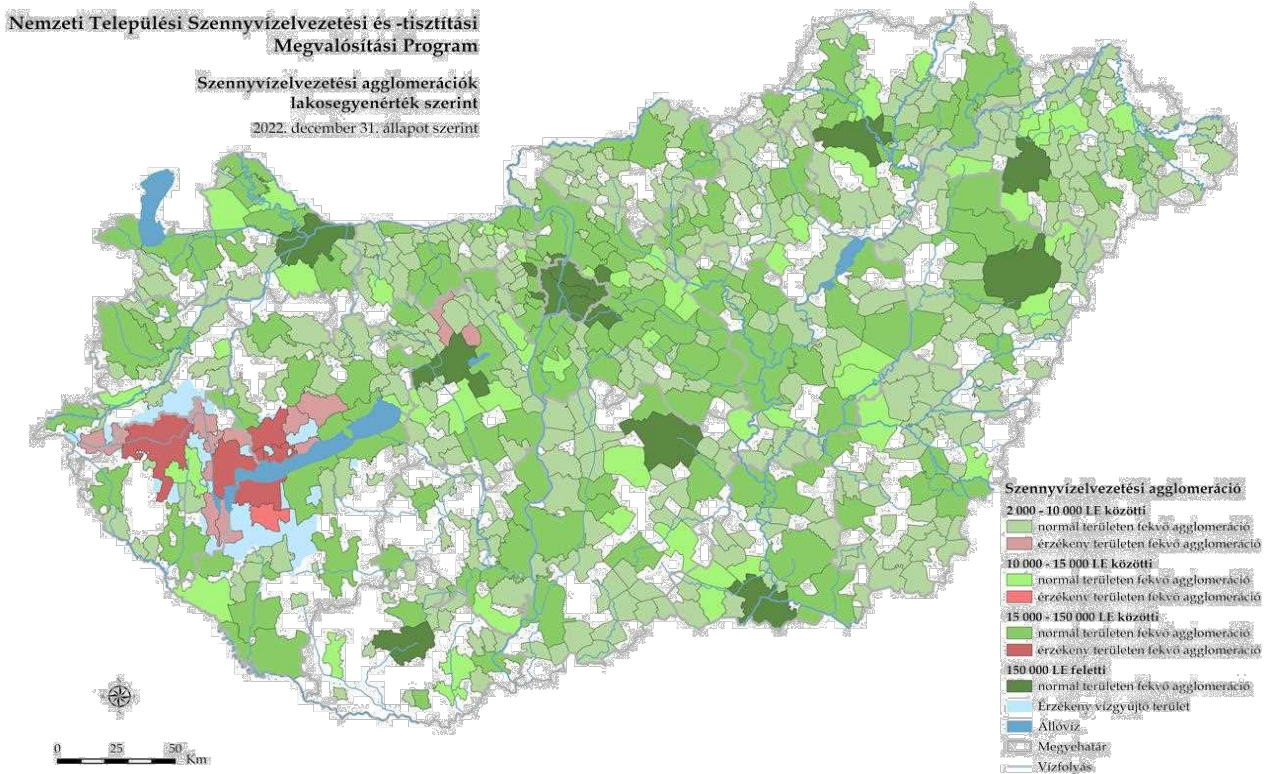
A vízgyűjtő-gazdálkodás kifejezés összefoglalóan a vízgyűjtő területeken belüli vízkészletek

fenntartható kezelését takarja, melybe egyaránt beletartozik a vízminőség megőrzése a vizekbe juttatott szennyezőanyagok minimalizálásával, a vízmennyiségek fenntartása készletgazdálkodással, valamint az ökológiai egyensúly fenntartása a természetes élőhelyek és ökoszisztémák védelme érdekében. Cikkünkben ennek a két területnek az összefüggéseit járjuk körül.

## CSATORNÁZOTTSÁG MAGYARORSZÁG

A decentralizált rendszerek telepítésének alapvető követelménye, hogy olyan helyszínen történjenek, ahol kiépített közműves szennyvízgyűjtés nem áll rendelkezésre. Magyarországon az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) foglalkozik a csatornázási adatok országos szintű gyűjtésével és feldolgozásával, hogy a lehető legpontosabb adataink álljanak rendelkezésre a Nemzeti Szennyvízprogram (NSZP) végrehajtásával kapcsolatban, illetve az EU települési szennyvízkezelésről szóló 91/271/EGK irányelve (Irányelv, UWWTD) által előírt jelentési kötelezettség érdekében.

Az 1. ábra a NSZP 2022. december 31. referencia állapotát ábrázolja az szennyvízelvezetési agglomerációk nagysága (lakosegyenérték, LE), illetve a befogadó területek érzékenysége szerint színezve. Az agglomerációk egy vagy több településrészt is magukba foglalhatnak, és a települések közigazgatási külterületeivel



**1. ábra:** Szennyvízelvezetési agglomerációk nagyság és a terület érzékenysége szerint (2022)

együtt kerültek ábrázolásra. Szórványosan az egész ország területén találunk csatornázatlan részeket azonban szembeűnő a hiány a Dél-Dunántúl aprófalvas részén.

Az 1. táblázat a hivatalosan már kijelölt szennyvízelvezetési agglomerációkat és az agglomerációkba sorolt településeket tartalmazza, melyek közül még van olyan, ahol a csatornázás kiépítése nem történt meg.

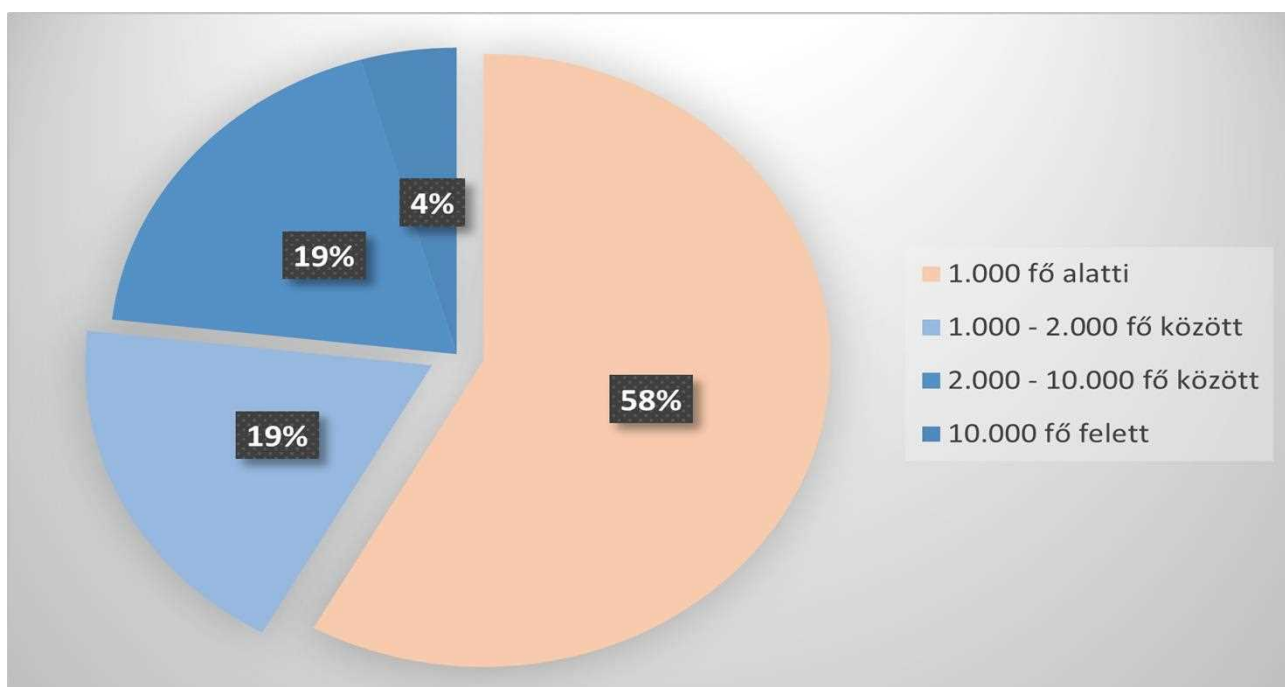
Az összesítésből látszik, hogy a 3155 magyarországi településből 2262 került besorolásra valamelyik agglomerációba, tehát 893 maradt, ahol a szennyvízkezelés jelenleg megoldatlan. Hogy melyik az a kör ebből, amivel a jövőben feltétlen foglalkozni kell, azt az EU előírásai egyértelműen megszabják. Az Irányelv az agglomerációk kötelezően figyelembeveendő alsó mérethatárát 2000 LE-ben

állapította meg. A tervezetten 2024-ben elfogadásra kerülő új irányelv ezt a határt 1000 LE-re csökkenti, vagyis jelentős új településkör csatornázása kerül fel hazánk feladatainak listájára. Az 1000 és 2000 fő közötti települések az összes település 19%-át teszik ki (2. ábra). Ebben a körben a csatornázás a standard megoldás az új irányelv szerint, egyedi rendszerek csak kivételes, nagyon indokolt esetben alkalmazhatóak. Decentralizált megoldások tekintetében tehát érdekesebb az 1000 fő alatti alatti településeket vizsgálnunk, melyből összesen 1835 db van.

Az 1835 településből 955 db, tehát 52% már jelenleg is rendelkezik kisebb-nagyobb mértékű csatornahálózattal (3. ábra). A csatornával ellátott lakosság mértéke a települések

Méret (LE)	Agglomeráció (db)	Település (db)
2 000 alatti	241	299
2 000-10 000 között	386	921
10 000-15 000 között	54	194
15 000-150 000 között	135	766
150 000 felett	11	82
Összesen:	827	2262

1. táblázat: szennyvízelvezetési agglomerációkat és az agglomerációkba sorolt települések méret szerint (2022)



2. ábra: Települések méret szerinti eloszlása (2022)

döntő többsége: 91%-a esetében nagymértékű, 90% fölötti.

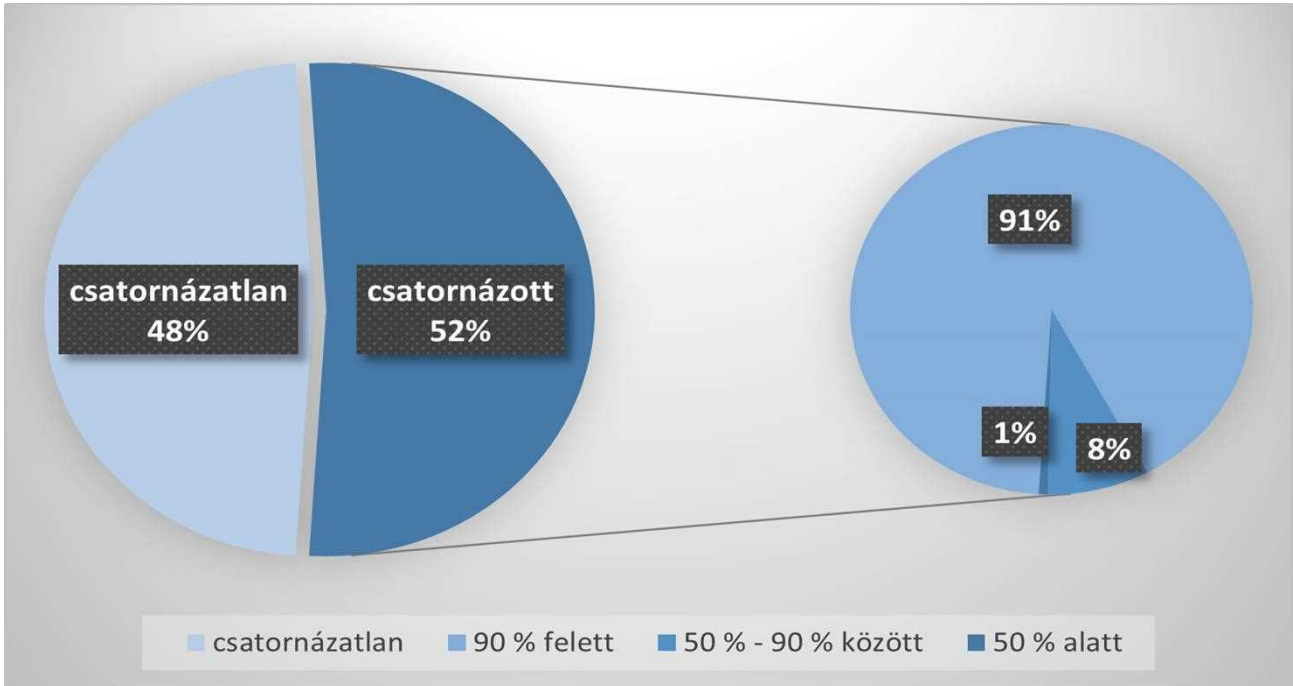
A kistelepülések maradék 48%-a ugyan nem rendelkezik semmilyen gyűjtőhálózattal, viszont 69 %-uk rendelkezik vagy szennyvízelvezetési agglomerációs jóváhagyással, vagy pedig KEHOP projekt keretében várják a csatornázás megvalósulását (4. ábra).

Az ábrákon bemutatott statisztikai számok alapján tehát nagyságrendileg 600 település

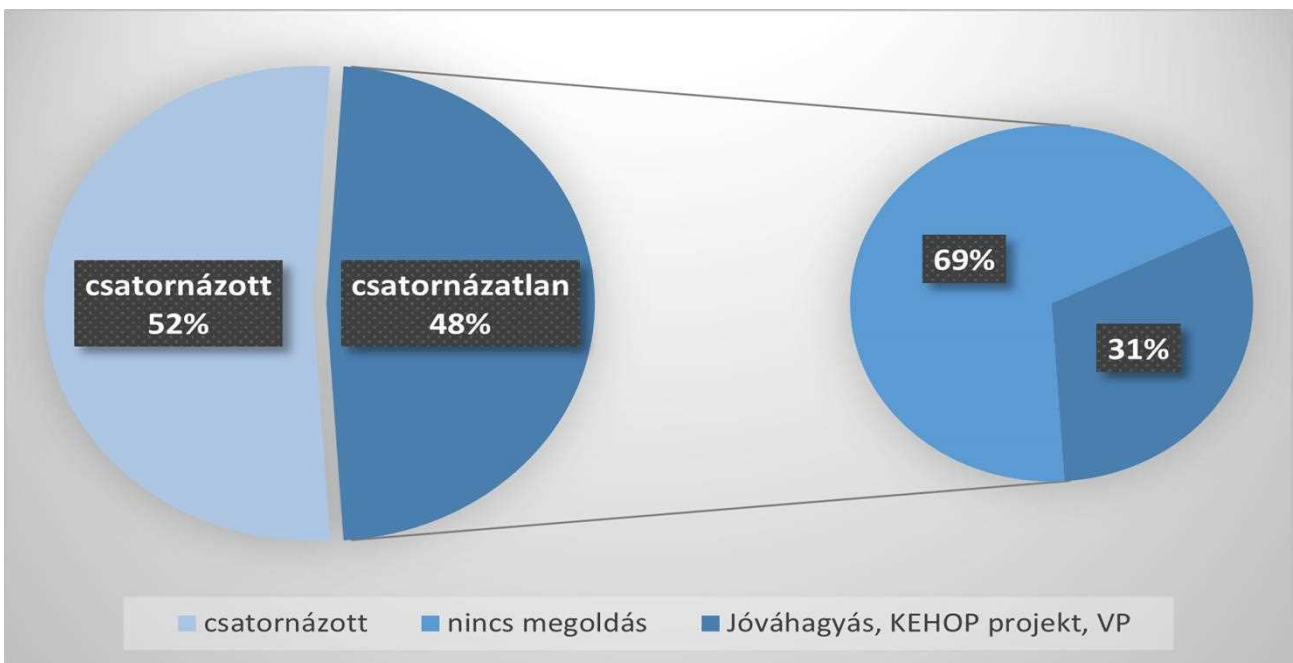
esetében kell megoldást találni a szennyvízkezelésre.

## EURÓPAI UNIÓ

Az egyedi rendszerek elterjedtsége az uniós tagállamok között változatos képet mutat. A két évente kötelező adatszolgáltatásnak agglomerációs lebontásban tartalmaznia kell azt a szennyvízarányt, amit csatornával gyűtenek össze, azt, amit egyedi rendszerekben tisztítanak meg, és azt, ami az agglomeráció



**3. ábra:** Települések csatornázottság szerinti megoszlása, csatornázottság lefedettségi aránya (2022)

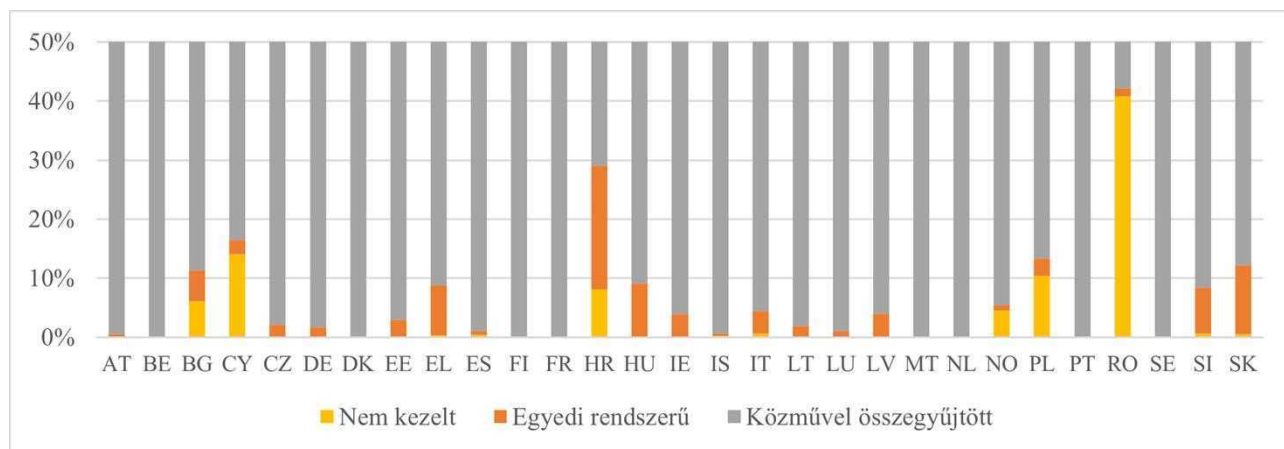


**4. ábra:** Csatornázatlan településekre vonatkozó tervek

területén keletkezik, de nem kerül egyik formában sem megfelelő kezelésre. Országokra összesítve ezeket láthatjuk az 5. ábrán. Magyarország az összevetésben 9,17%-kal

Horvátország és Szlovákia után a harmadik helyen áll az egyedi módon kezelt szennyvíz arányát tekintve. Az ábra értelmezésénél érdemes figyelembe venni, hogy mind



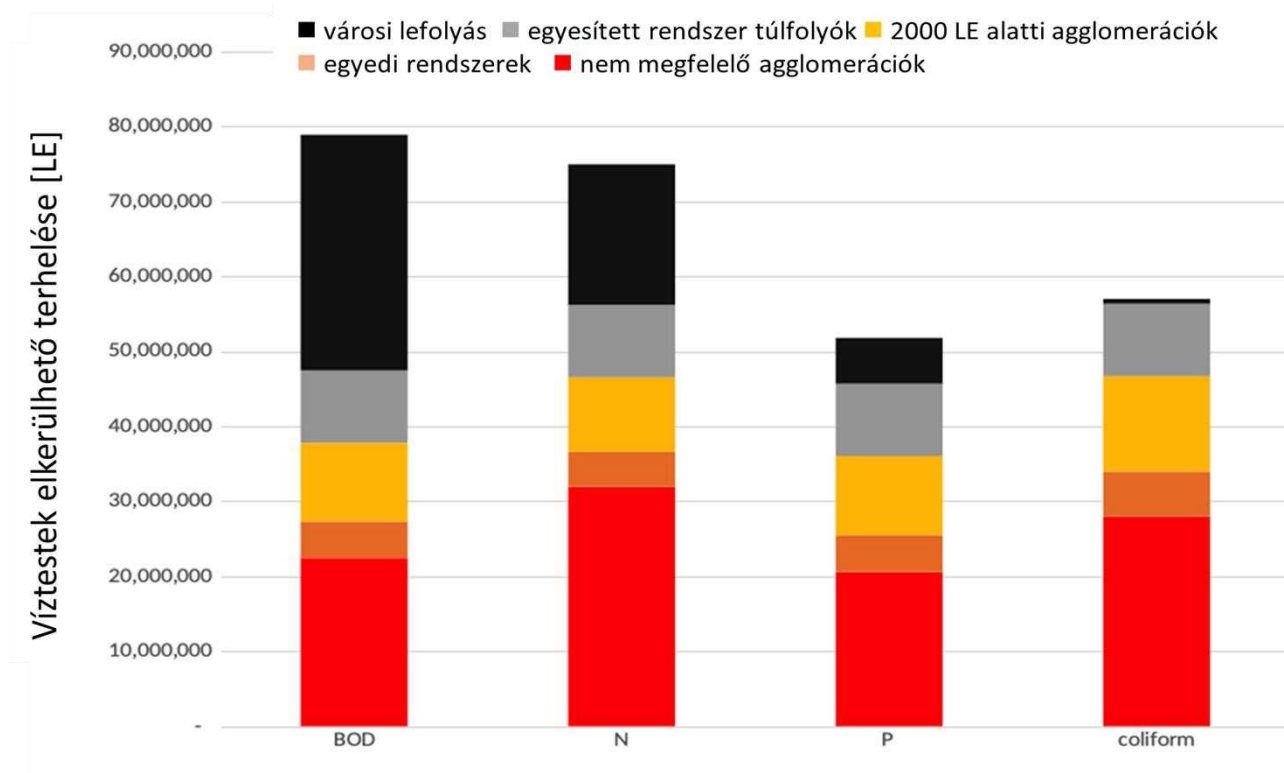


5. ábra: Agglomerációk szennyvízkezelése országonkénti összesítésben, 2020 (50% fölötti rész közművel gyűjtve)

az agglomerációk kijelölésének módjában eltérnek a tagállamok, mind abban, hogy mit jelentenek az EU felé egyedi megfelelő szennyvíztisztásként. Magyarországon például 2018-tól számítjuk ide azokat az egyedi rendszerekben tárolt szennyvizet is, amit tengelyen szállítanak tisztítótelepre.

### VÁLTOZÓ JOGI KÖRNYEZET

A jelenleg hatályos Irányelv az egyedi szennyvízkezelést lehetővé teszi, de szűkszavúan szabályozza: „Ahol a gyűjtőrendszerek létrehozása nem indokolt, akár azért, mert nem járna környezeti előnyökkel, akár mert



6. ábra: Elkerülhető fennmaradó terhelések EU szinten, Joint Research Centre, 2019

aránytalanul nagy költségekkel járna, azonos szintű környezetvédelmet nyújtó egyedi rendszereket vagy más megfelelő intézkedéseket kell alkalmazni.”

Az Irányelv végrehajtásának hatásait vizsgáló EU-s tanulmány azonosította azokat a víztesteket elérő szervesanyag, tápanyag és bakteriális terheléseket, amelyek elkerülhetőek lennének az Irányelv teljes mértékű betartása esetén (6. ábra). Ennek következtében az új irányelv tervezet jelentős módosításokat tartalmaz mind a kistélepülésekre, mind az egyedi rendszerekre vonatkozóan.

A legfontosabb módosítás a már fentebb említett agglomerációs mérethatár 2000 LE-ről 1000 LE-re módosítása. Az egyedi rendszereket tekintve szintén szigorításról beszélhetünk, a tervezet a következőket tartalmazza: Ha bizonyítható, hogy gyűjtőhálózat építés, ill. arra rácsatlakozás nem járna előnyökkel a környezetre vagy az emberi egészségre nézve, nem lenne műszakilag megvalósítható, vagy túlzott költségeket vonna maga után, akkor (és csak akkor) lehetséges a települési szennyvíz gyűjtésére, tárolására vagy kezelésére egyedi rendszereket alkalmazni. Ilyenkor biztosítani kell a környezet és az emberi egészség ugyanolyan szintű védelmét, mint a másodlagos és harmadlagos kezelés. Az ilyen rendszerek lehetnek gyűjtő-, tároló- vagy kezelőrendszerek, például természetalapú megoldások, kisméretű kezelőrendszerek, vagy ideiglenes tartályok, amelyekből eltávolított szennyvizet rendszeresen szennyvíztisztító telepekre szállítanak.

A tagállamoknak nyilvántartásokat kell létrehozniuk az egyedi rendszerekről és kockázatalapú megközelítés alapján rendszeresen ellenőrizni kell őket (különösen a vízzáróságot és szivárgásmentességet). A költségek miatt

az új tervezési követelmények nem alkalmazandók a már meglévő rendszerekre. Amennyiben nemzeti szinten a legalább 2 000 LE agglomerációkból származó települési szennyvízterhelés több mint 2 %-ának gyűjtésére vagy kezelésére egyedi rendszereket használnak, a tagállamoknak meg kell indokolniuk a Bizottság felé ennek okát, be kell mutatniuk a rendszerek megfelelőségét és az ilyen rendszerek használatának csökkentése érdekében hozott intézkedéseket.

A települési szennyvíz tekintetében az UWWTD mellett a Víz Keretirányelv (VKI) is tartalmaz megköveteléseket az alkalmazható megoldások tekintetében, hiszen a felszíni víztestek jó ökológiai állapotát a szennyvízbevezetések is veszélyeztethetik. Az összefüggést a VKI alapján készülő vízgyűjtő-gazdálkodási tervekben (VGT) is meg kell jeleníteni, hiszen az intézkedések közé a szennyvízzel kapcsolatos intézkedéseknek is be kell kerülniük. A két irányelv ellentmondásait felértékeli egy bírósági ügy, melyet röviden összefoglalunk.

2015-ben az Európai Unió Bírósága a C-461/13-as ügy, a Weser-ügy vonatkozásában hozott újszerű megállapításokat. A Weser-folyó kimélyítése kapcsán egy környezetvédelmi NGO, a Bund megtámadta Németországot, arra hivatkozva, hogy értelmezésükben a VKI egy beavatkozás következményei kapcsán nem csak az osztályátlépést tekinti állapotromlásnak, hanem a víztestek bármely paraméterének romlását (VKI 4. cikk szerinti status quo elv). Németország azzal védekezett, hogy az az összesített ökológiai státusz a projekt miatt nem romlana (status class elv). A Bíróság döntése a kettő közti szigor alkalmazta: nem döntő bármilyen paraméter romlása, viszont ha egyetlen állapotértékelési elem osztálya is leromlik, akkor a víztest állapota is romlik. A döntés értelmében nincs de

minimis küszöb sem, tehát ha valami a legrosszabb osztályban van a beavatkozás előtt, akkor is számít minden egyéb romlás.

A döntés két következménye, hogy egyrészt hivatalossá vált, hogy a VKI előírások és a VGT-kben rögzített célkitűzések nem csak menedzsment tervezési eszközök, hanem egyes konkrét projekteket is korlátozhatnak, másrészt a tagállamok nem engedélyezhetnek olyan projekteket, amik felszíni vizek állapotromlását okozzák.

A települési szennyvizek tisztítására vonatkozó UWWTD követelmények ezáltal ellentmondásba tudnak kerülni a VKI-vel, hiszen a legjobb technológia sem képes 100%-os tisztításra, a szennyvizek mennyisége pedig növekszik, tehát egyéb beavatkozásoktól eltérően a jó állapot elérésének halasztása (VKI 4.4 cikk) nem megoldás, a kevésbé szigorú minőségi cél (4.5 cikk) szintén nem. A 4.7 cikk szerinti mentesség csak jó státusz esetén alkalmazható, ami sok szennyvízbefogadó esetén nem áll fent. A tervezett új UWWTD már kezelni fogja ezt a jogi ellentmondást a 15.4 cikkében.

### DECENTRALIZÁLT SZENNYVÍZTISZTÍTÁS

Bár az Irányelv szerint a 2000 LE alatti települések szennyvízkezelésének megoldása nem tagállami kötelezettség, a tagállamok saját hatáskörben előreléphettek az ügyben. Magyarországon az elmúlt évek során a különböző minisztériumok és állami szervek több tanulmányt rendeltek, útmutatókat készítettek a témában. A tanulmányok környezeti, gazdaságossági, műszaki szempontokat figyelembe véve települési szinten tettek javaslatot az optimális műszaki megoldásra. Egy 2019-es belügyminisztériumi feladat-szabás célja, hasonlóan a korábban bemutatott tanulmányokhoz, településsorosan

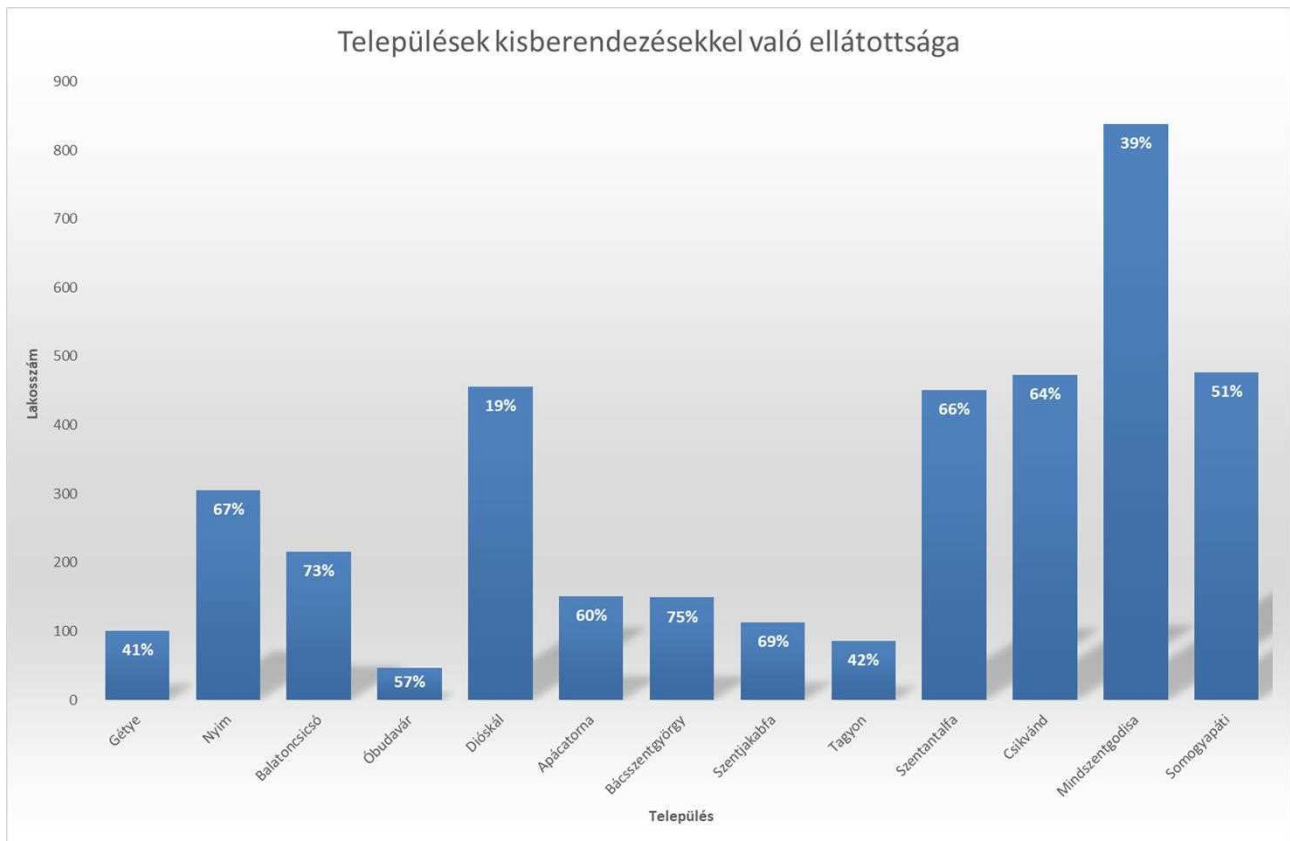
meghatározni olyan műszaki megoldásokat, melyet alkalmazni lehet az adott településen, figyelembe véve a helyi sajátosságokat, lehetőségeket és esetlegesen fennálló korlátozó tényezőket. A feladat teljesítésének első meghatározó pontja a programszerűen telepített egyedi kisberendezések üzemeltetési tapasztalatainak begyűjtése és az eredmények kiértékelése volt.

### TAPASZTALATOK

A tapasztalatok begyűjtésének részeként helyszíni bejárás keretein belül tekintettünk meg kisberendezéseket, ahol a polgármesterek részletesen beszámoltak a – pályázás, megvalósítás, üzemeltetés során szerzett – tapasztalatokról, a kisberendezések előnyeiről és hátrányairól.

Az önkormányzatok és a lakosság is elsősorban még a hagyományos csatornázást és szennyvíztisztító telepi tisztítást részesíti előnyben, ugyanakkor sok esetben indokoltabb lenne (településszerkezet, gazdaságosság okán) az egyedi szennyvíztisztítás szélesebb körű alkalmazása.

A 2011-2018 közötti időszakban 12 település esetében (3711 fő) 897 db kisberendezés programszerű telepítésére került sor. A 2011. évben telepítésre kerülő kisberendezések üzemeltetésének sikertelensége elsősorban a tapasztalat hiányából, a rendelkezésre álló forrás korlátozott meglétéből, az üzemeltetési nehézségekből, illetve a lakosság felkészületlenségéből eredt. A berendezések üzemeltetési problémái a rossz kivitelezésből és a letelepítés feltételeinek helytelen felméréséből is adódtak. Az elsőként alkalmazott programszerűen letelepített kisberendezéseknél gyakran alkalmazták a Polydox típusú berendezést, mely üzemeltetési szempontból a legtöbb problémát jelentette akkor.



**7. ábra:** A települések kisberendezésekkel való ellátottsága

A korábbi évek tapasztalatait felhasználva a 2018-as évben telepített kisberendezések esetében már stabil az üzemeltetési tapasztalat, amihez hozzátartozik az alkalmazandó megfelelő egyedi kisberendezések kiválasztása. A jövőre nézve megállapítható, hogy a pozitív tapasztalatok elősegítik a települések számára a kisberendezések egyre szélesebb körű alkalmazását.

Azon települések esetében, akik a Vidékfejlesztési Program (VP) pályázatainak keretében valósították meg a település egyedi szennyvíztisztítását - a maximált elnyerhető összeg behatároltsága miatt – a település teljes lakosságát tekintve csak kis százalékban telepítettek egyedi kisberendezéseket (a települések több mint 50%-a esetében 60% alatti), azokat

is a települések különböző pontjain (7. ábra). Így a szennyvízelhelyezéssel egyáltalán nem rendelkező települések mellett számos olyan település is vizsgálendő lenne, ahol a szennyvíztisztítás részben tekinthető megoldottnak. A 7. ábráról leolvasható továbbá az is, hogy csak két település (Balatoncsicsó és Bácszentgyörgy) esetében van a település 70 % felett ellátva kisberendezésekkel.

Kérdést vet fel, hogy a már meglévő kisberendezéseket üzemeltető, korábban pályázati támogatásban részesülő településeken az ellátatlan ingatlanok szennyvízkezelése milyen forrásból fedezhető. Megoldást jelentene, ha ezek a települések újra indulhatnának VP-s pályázatokon vagy egy külön pályázati rendszer keretében kerülne forrásbiztosítás a számukra.

Az egyedi műszaki megoldások tekintetében kiemelendők Apácatorna 2011-ben programszerűen telepített tisztítómezővel ellátott EPURBLOC típusú oldómedencés létesítményei. A 151 fős településen összesen 50 db létesítmény került elhelyezésre. Az üzemeltetéséhez nem volt szükség a háztartási szokások megváltoztatására, nem szükséges energiabevitel, nincsenek forgó alkatrészek, amik meghibásodhatnak, illetve elkerülhető volt az útburkolatok bontása. Hátrányként jelentkezett ugyanakkor a nagy területigényű szűrőmező kialakítása, ami a telek hasznos területét csökkenti valamint a monitoring kutak szükségessége.

Az alkalmazott kisberendezések üzemeltetési tapasztalatai alapján az alábbi problémákat állapítottuk meg:

az elkövetkező pénzügyi ciklusban a pályázati kiírás feltételrendszere módosításra kerüljön; Önkormányzatok részére biztosítva legyen az üzemeltetéshez szükséges forrás;

megoldást kell találni azoknál a településeknél, ahol a Polydox típusú berendezések kerültek letelepítésre (megoldás: a meglévő berendezések helyett egy új típusú berendezés kerülne letelepítésre);

település lakói tájékoztató oktatásban részesüljenek, ahol szembesülnek azzal, mivel jár egy kisberendezés használata, üzemeltetése; fontos továbbá a lakosság részéről a környezettudatos szemléletmód;

problémás az egyedi rendszerek üzemeltetése olyan ingatlan esetében pl. ahol az ott tartózkodás egybefüggően csak néhány nap. A feladat végrehajtása során azt tapasztaltuk, hogy az Önkormányzatok a rendelkezésre álló adott pályázati konstrukcióhoz igazodva próbálják a településük szennyvízkezelését megoldani, ami nem feltétlenül eredményezi

környezetvédelmi szempontokból sem az optimális műszaki megoldás kiválasztását.

Az eddigi VP-s pályázati keretösszeg alapján 200 fő alatti lakossámnál van érdemi lehetőség egyedi szennyvízkezelésben gondolkodni.

Célszerű lenne olyan térségi (megyei vagy régiós, esetleg VIZIG szintű) koncepcióterv kidolgozása, ahol az egyes települések lehetőségeit figyelembe véve, térségi szinten kerülnének az optimális megoldások kialakításra.

Összességében tehát az egyedi kisberendezések alkalmazása indokolt lehet, azonban ehhez szükséges a műszakilag megfelelő és egyedileg méretezett kisberendezés és a hozzá tartozó technológiai tisztítás kiválasztása.

A megfelelő műszaki megoldások kiválasztásához minden esetben részletes gazdaságossági, hatékonysági vizsgálatok szükségesek, melyek keretében figyelembe kell venni a beruházási, a későbbi üzemeltetési, fenntartási költségeket, illetve a lakosság díjfizető képességét is.

### CSATORNÁZATLAN TELEPÜLÉSEN ALKALMAZHATÓ MŰSZAKI MEGOLDÁSOK

A csatornázatlan települések számára javasolt megoldások értékeléséhez egy geoadatbázist hoztunk létre, mely gazdaságossági, környezetvédelmi szempontból vizsgálta a települések sajátosságait. A feldolgozás 992 db településre készült el, melyben szerepeltek olyanok is, melyek jóváhagyott agglomerációs átsorolási kérelemmel, illetve az egyedi szennyvíztisztításra jóváhagyott pályázattal rendelkeztek.

A geoadatbázis összeállítása során első lépésben meg kellett határozni azokat a települési közigazgatási egységeket (külterület,

belterület) melyeket felhasználhatunk a gazdaságossági számításához, melyből a külterületeket kizártuk.

A tényleges belterület lehatárolás az ingatlan nyilvántartás térinformatikai adatbázisával történt. A hrsz-os ingatlan nyilvántartásból leválogatásra kerültek a lakó épülettel rendelkező alrészletek (telkek), különválasztva a belterületi, külterületi és zártkerti ingatlanokat.

A belterületi és külterületi ingatlan nyilvántartás adatbázisában művelési ág szerint 10 különböző kategóriát különböztet meg. A 0 és a 9-es kategóriát hagytuk meg, mert azok tartalmazzák a tényleges lakóingatlanokat.

Az egymástól független poligonokból álló belterületi telekhatárokat aggregáltuk, annak érdekében, hogy a településsoros vizsgálat létrejöhessen. A továbbiakban a belterület fogalmán ezt az általunk létrehozott belterületet értjük.

## **CSATORNÁZÁS GAZDASÁGOSSÁGI VIZSGÁLATA:**

A csatornázás gazdaságossági vizsgálata igényelte a belterület minél pontosabb lehatárolását. A Magyarország települési szennyvíz-elvezetési és -tisztítási helyzetét nyilvántartó Településsoros Jegyzékről és Tájékoztató Jegyzékről, valamint a szennyvíz-elvezetési agglomerációk lehatárolásáról szóló 379/2015. (XII. 8.) Korm. rendelet (továbbiakban: 379-es Kormányrendelet) alapján 52 lakás/km, 120 fő/km illetve 30 fő/ha feltétel teljesülése esetén gazdaságosan csatornázható a település.

A terület alapú (30 fő/ha) vizsgálat során a 992 db településből 5 db felelt meg a csatornázás feltételének.

Ezt követően az 52 lakás/km vagy 120 fő/km szempontú feltételhez határoztuk meg

a csatornahossz megközelítő értékét. Ehhez a belterületi úthálózatot használtuk megközelítésnek települési szinten összesítve. A belterületet egy 25 m-es puffer zónával kibővítettük, annak érdekében, hogy ne vesszük el a település határán húzódó úthálózatot. A csatornahossz meghatározásához kontrollként felhasználtuk az OVF VKONLINE közműadatbázisából származó települési ivóvíz hálózat gerincevezeték hosszakat is. Összehasonlítottuk a kapott út- és vízvezeték hosszakat. Végül a csatorna megközelítő hosszértékének a vízvezeték hossz és annak értékéhez közelebb eső belterületi úthossz átlagát választottuk.

Az 52 lakás/km vagy 120 fő/km feltétel alapján 197 db település felelt meg a vizsgálatunknak; a terület alapú vizsgálatot is figyelembe véve összesen 199 település felelt meg a 379-es Kormány rendelet előírásainak.

Megvizsgáltuk, hogy az általunk gazdaságosan csatornázhatónak ítélt településekhez tartozike potenciális szennyvíztisztító telep, vagyis olyan, ami az OVF Települési Szennyvíz Információs Rendszere (TESZIR) szerint üzemel, megfelelően működik és 200 LE feletti terhelési, ill. 20 m<sup>3</sup>/d feletti hidraulikai szabad kapacitással rendelkezik. Itt figyelembe vettük a jövőbeli fejlesztési igényt és a rá nem kötött lakosság terhelését is (1 fő = 1 LE illetve 1 fő = 90/l/fő/d fajlagos fogyasztással). Ennek megfelelően 260 db szennyvíztisztító telep került a vizsgálatba. Minden egyes szennyvíztisztító telep körül 10 km-es pufferzónát alakítottunk ki, tekintettel a tartózkodási időre. A térinformatikai vizsgálat alapján a fenti 199 db település közül 115 esetében található a fenti szempontoknak megfelelő, potenciális szennyvíztisztító telep. A vizsgálat nem tért ki a domborzatviszonyokra, valamint nem

vizsgáltuk, hogy az adott település terhelésének fogadására alkalmas-e a hozzá közel eső szennyvíztisztító telep(ek). A 10 km-es zónát tekintve egy településhez több potenciális telep is adódhat, illetve egy potenciális szennyvíztisztító telep több vizsgálandó kistépülésnél is felmerülhet befogadóként.

A 379-es Kormányrendelet alapján tartósan magas talajvízállású területeken nem kell megfelelni a rendelet szerinti csatorna gazdaságossági szempontoknak. A magas talajvízállású területekre vonatkozóan több forrást is felhasználtunk (település lista: 8005/1995 KHVM tájékoztató, 224/1999. Korm. rendelet, VITUKI tanulmány 2001; valamint talajvíz térkép fedvények), a településsoros jegyzékhez ezek összesítését vettük figyelembe. Magas talajvízállással 449 db település érintett, melyből 100 település egyébként is gazdaságosan csatornázható.

Az erősen belvízveszélyes területtel érintett településeket szakmai megfontolásból a magas talajvízállású területekhez hasonlóan vettük figyelembe. A belvíz veszélyeztetettség domborzatmodell alapú, így a pontosabb lehatárolás miatt nem a külterületet, hanem a belterület 150 m-es pufferzónával növelt területét vettük alapul az érintettség vizsgálatakor. 64 település erősen belvízveszélyeztetett, melyből 50 önmagában magas talajvízállással is érintett.

### **Csatornázáson kívüli megoldás jogszabályilag nem lehetséges:**

Vízbázisvédelmi szempontból az egyedi rendszerek alkalmazása jogszabályilag is tiltva van bizonyos területeken, amiket a vizsgálat során azonosítani kellett. A vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre

és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról szóló 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet értelmében: „Egyedi szennyvíztisztító berendezést a felszín alatti vizek védelme szempontjából fokozottan érzékeny területek közül csak azokon a helyeken lehet létesíteni, ahol

- a) a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellétesítmények védelméről szóló kormányrendelet a tisztított szennyvíz szikkasztását nem tiltja, és
- b) karsztos területek esetén továbbá akkor, ha a karsztvíztest jó kémiai állapotban van és
- ba) a felszínen vagy 10 méteren belül nem találhatóak mészkő vagy dolomit képződmények”

A fentiek alapján a sérülékeny vízbázis védőterületeket, a sérülékeny vízbázis vízmű kutakat, a gyenge minőségi állapotú karsztvíztesteket valamint a nyílt karszt rétegeket használtuk fel. A fenti vizsgálatot településsorosán, külterületekre vonatkozóan állapítottuk meg.

A vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellétesítmények védelméről szóló 123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet szerint csak a külső védőövezeten kívül lehetnek lakóépületek csatornázás nélkül. Házi szennyvíz szikkasztása, szennyvíztisztító telep is csak a hidrogeológiai „A” és „B” védőövezetekben lehetséges környezeti hatásvizsgálat eredményétől függően. Országosan, különösen az érintett kis településekre, teljes terjedelemben védőövezetekre osztott térinformatikai állomány nem áll rendelkezésre, ezért közelítést alkalmaztunk. A vízmű kutak alapvetően belterületen vagy annak határán létesültek. Ennek megfelelően a települések sérülékeny vízbázisainak meglévő és feltételezett védőterületei belterületre

is esnek, vagyis csatornázási kötelezettség áll fenn (286 település érintett).

A gyenge kémiai állapotú víztestek közé a vizsgálatba bevontuk elővigyázatosság elve alapján a Villányi-hegység karsztvíztestet (k.3.1.), melynek állapota még jó, azonban esetében fennáll a gyenge állapot elérésének kockázata. A 147-es kormányrendelet vonatkozó előírása szakmai szempontból nehezen értelmezhető, ezért a teljes területű karsztvíztestekkel végeztük az elemzéseket.

A fenti jogszabály alapján a 992 településből 333 településen csatornázni szükséges.

Az Országos Területrendezési Terv (OTRT) Balaton Kiemelt Üdülőkörzet település listáján 21 település szerepel a 992 vizsgálandó közül. A fenti vizsgálataink alapján ezek közül 8 esetben jogszabályi előírás van csatornázásra, a többi – 2 kivételével – magas talajvízállású területen fekszik.

Érzékenységi vizsgálat:

A környezeti érzékenységi vizsgálat célja azon területek lehatárolása, ahol a csatornázáson kívüli szennyvízkezelési megoldások a felszín alatti vizet, ill. a földtani közeget veszélyeztetik.

A környezeti szempontok értékelésekor nem került figyelembe vételre a településekről jövőben kikerülendő tisztított szennyvíz mennyiségi és minőségi összetétele, a nyári és téli időszak közötti tápanyag-eltávolítási határfok eltéréseit sem.

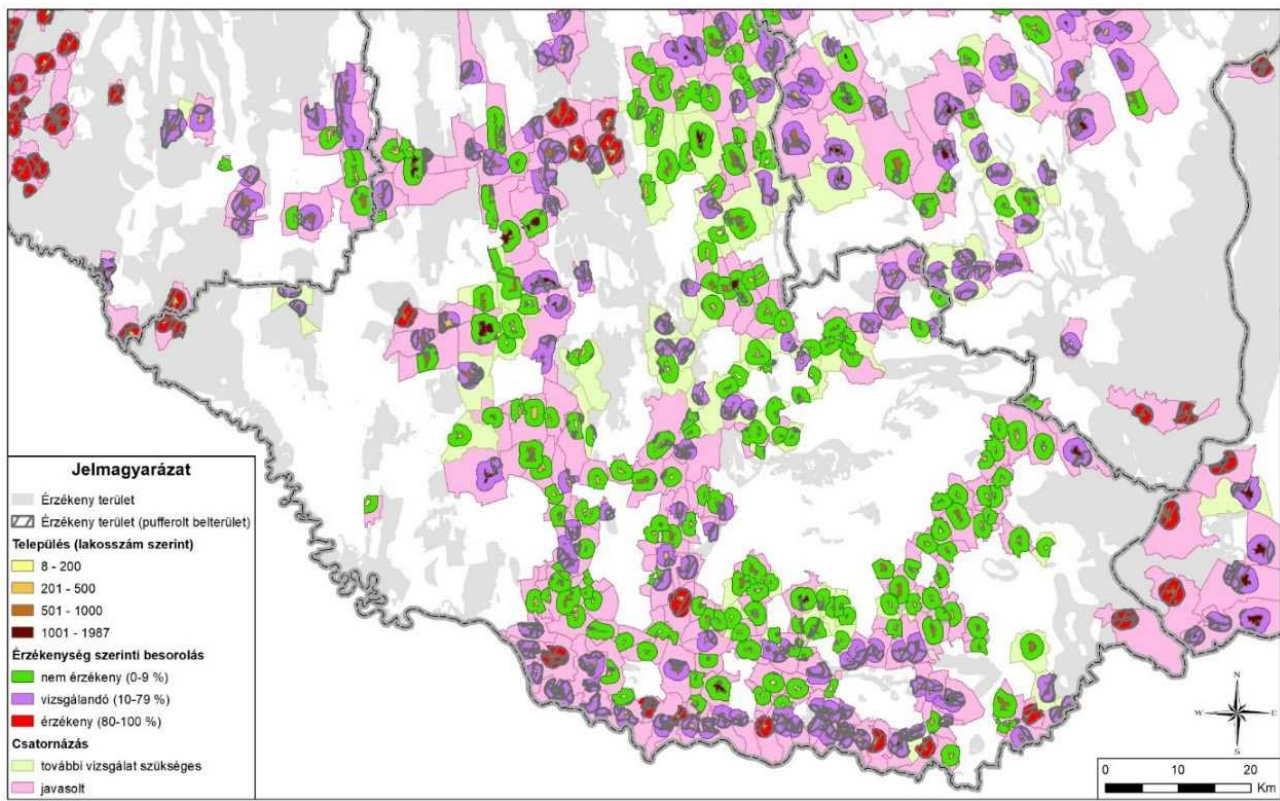
- A földtani közeg érzékenységének vizsgálatakor a következő szempontokat vettük figyelembe:
- felső 10 méter képződményeiben jelentős vastagságban kavics
- felső 10 méter képződményeiben jelentős vastagságban agyag

- szikkasztásra alkalmatlan vízgazdálkodású talajok
- szikes területek
- tözeges területek
- fedett karszt (100 méteren belül mészkő, dolomit)
- barlang védőövezetek
- árvízi elöntési területek
- Natura2000 vizes területek, Ramsari területek, ExLege lapok és szikes tavak
- a települési szennyvíztisztítás szempontjából érzékeny felszíni vizek és vízgyűjtőterületük kijelöléséről szóló 240/2000. (XII. 23.) Korm. rendelet – tápanyag érzékeny területek
- a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól szóló 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet 2. melléklet

Lehatárolásra kerültek azok a területek, ahol a magas vertikális és horizontális szivárgási tényező miatt a tisztított szennyvíz további rétegekbe jutása, szétterjedésének megakadályozása nem biztosítható (karszt, kavicsos területek). A kavicsos területen a kavicsos tisztítási hatékonyságot egyébként sem biztosít, jelenlétekor talajcserét kellene alkalmazni. Szikes területeken a jelentős feláramlási viszonyok következtében a felszín alatti közegbe bevezetés nem lehetséges, a beszivárgás ezeken a területeken nem történik meg, „szennyvízdomb” jönne létre, hasonlóan az agyagos területeken is. A nagy vastagságú agyag jelenlétekor dréncső nem helyezhető el, a talajcsere jelentős környezeti terheléssel járna ilyen mértékben. Az árvízi elöntések egyes kisberendezések telepíthetőségét korlátozzák, illetve megfelelő működésüket veszélyeztetik.

Továbbá megvizsgáltuk az érintett vízfolyások ökológiai állapotát és időszakosságát





**8. ábra:** Dél-Dunántúli területe geo adatbázisba készített vizsgálati eredménye

a tisztított szennyvíz bevezethetőségének szempontjából. A települések külterületére meghatároztuk az időszakos vízfolyásokat valamint a jó és kiváló állapotú vízfolyás víztesteket, láthatóvá téve hol kerülendő a bevezetés.

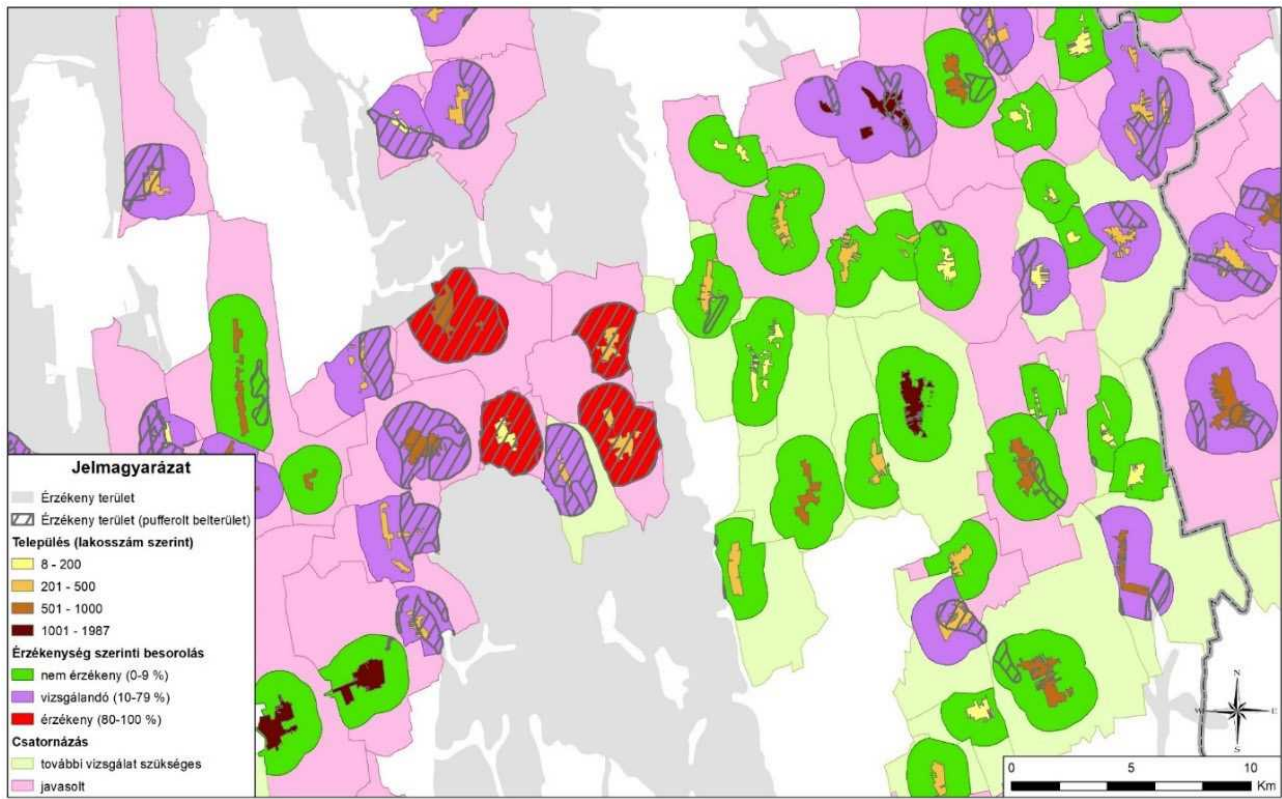
A fenti érzékenységi szempontú térinformatikai fedvények érintettségét a belterület 1 km-es pufferzónával növelt területére vizsgáltuk. Mivel egy települést több környezeti szempont is érinthet, ezek egymással átfedő területek is lehetnek, így az érzékeny területeknek az összevont halmazát készítettük el, majd ennek a területnek az arányát vizsgáltuk településenként.

Az összevont érzékenységi terület aránya alapján a településeket három csoportba lehetett besorolni:

érzékeny települések: 340 db, összevont érzékenységi terület meghaladja a 80 %-ot. Szakmai szempontból nem javasolt a földtani közegbe történő egyedi szennyvíztisztító kisberendezésből származó tisztított szennyvíz bevezetése;

nem érzékeny települések: 335 db, összevont érzékenységi terület aránya 10 % alatti vagy egyáltalán nincs. A jogszabályoknak megfelelően a földtani közegbe bevezetés megengedhető, de az előforduló érzékeny területet bevezetés szempontjából el kell kerülni;

vizsgálendő települések: 317 db, összevont érzékenységi terület aránya 10 és 80 % között. Egyedi vizsgálat szükséges, hogy milyen típusú érzékenységgel és annak milyen területi eloszlásával rendelkezik a település. A földtani közegbe való bevezetést egyedi vizsgálatot



9. ábra: Érzékenységi vizsgálat eredménye (részlet)

követően a település nem érzékeny területén javasolt tervezni.

A fent részletesen bemutatott szempontrendszerek végeredményeképpen létrejött döntéstámogató geodatabase egy részletét mutatja be a 8. és 9. ábra

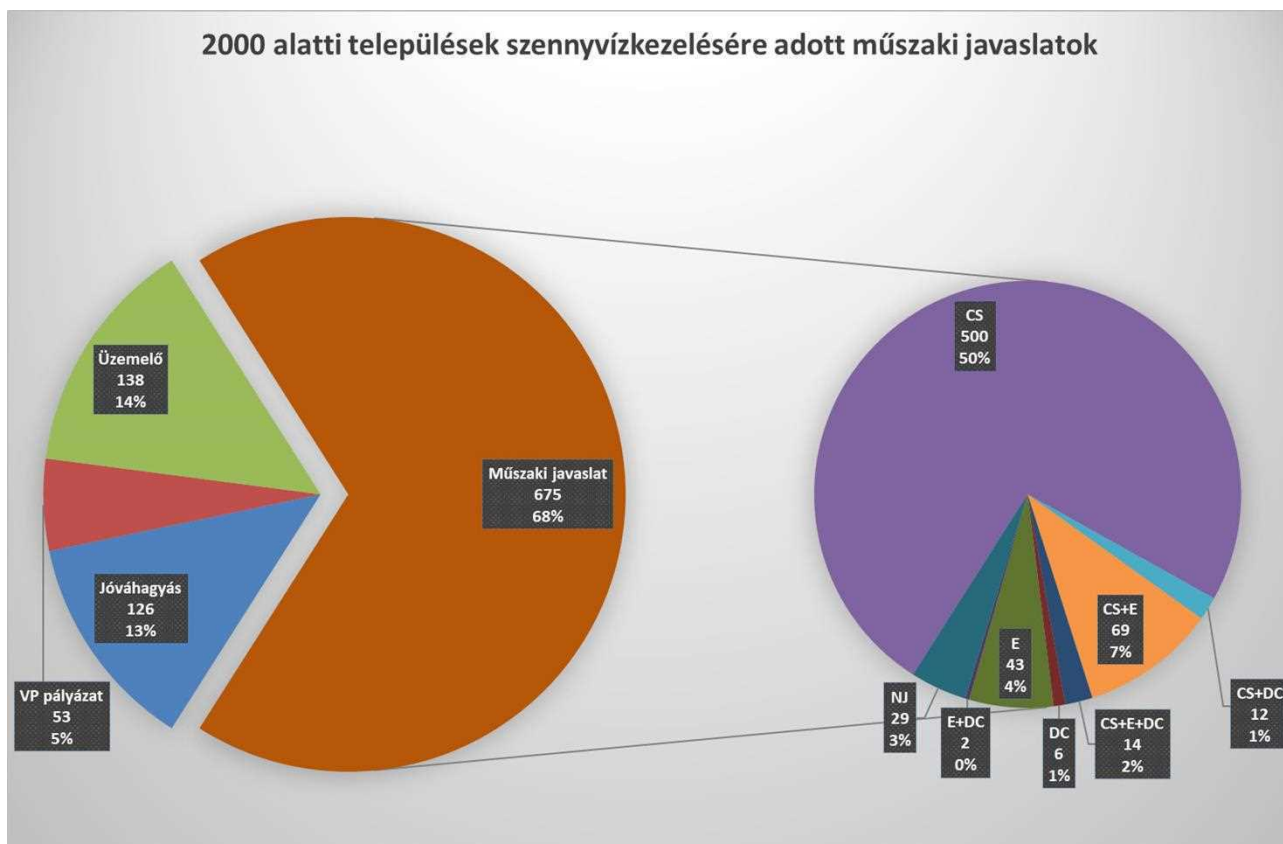
A települések közigazgatási területét három részre osztottuk fel, melyeket különböző színekkel jelenítettünk meg. Ezek a színek a szempontrendszer összevont eredményét jelölik. A települések belterületét lakosság nagysága alapján 4 kategóriára osztottuk és különböző színnel jelenítettük meg. A belterület körüli 1000 m-es pufferzónát az érzékenységi vizsgálat eredményével színeztük ki. A település külterületét pedig két színnel jeleztük. Rózsaszínnel azokat a településeket, mely vagy a gazdaságossági számítás alapján,

vagy az egyedi rendszerek jogszabály tiltása miatt javasolt csatornázni. A zölddel jelölt települések esetében nincs olyan kritikus elem, mely veszélyeztetné a felszín alatti vizeket vagy földtani közeget.

## EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Fontos megjegyezni, hogy az általunk készített térkép országos léptéket használ, közelítéseket alkalmaz, továbbá a rendelkezésünkre álló adatbázisokból került meghatározásra. Ezért az eredmények értékelésekor figyelembe kell venni, hogy azokat mindenképpen ki kell egészíteni a településre készített részletes vizsgálatokkal.

A fentiekben felsorolt vizsgálati szempontok és az összeállított geodatabase értékelése során a települések vonatkozásában meghatározásra kerültek a javasolt műszaki megoldások, melyeket a 9. ábra mutat be.



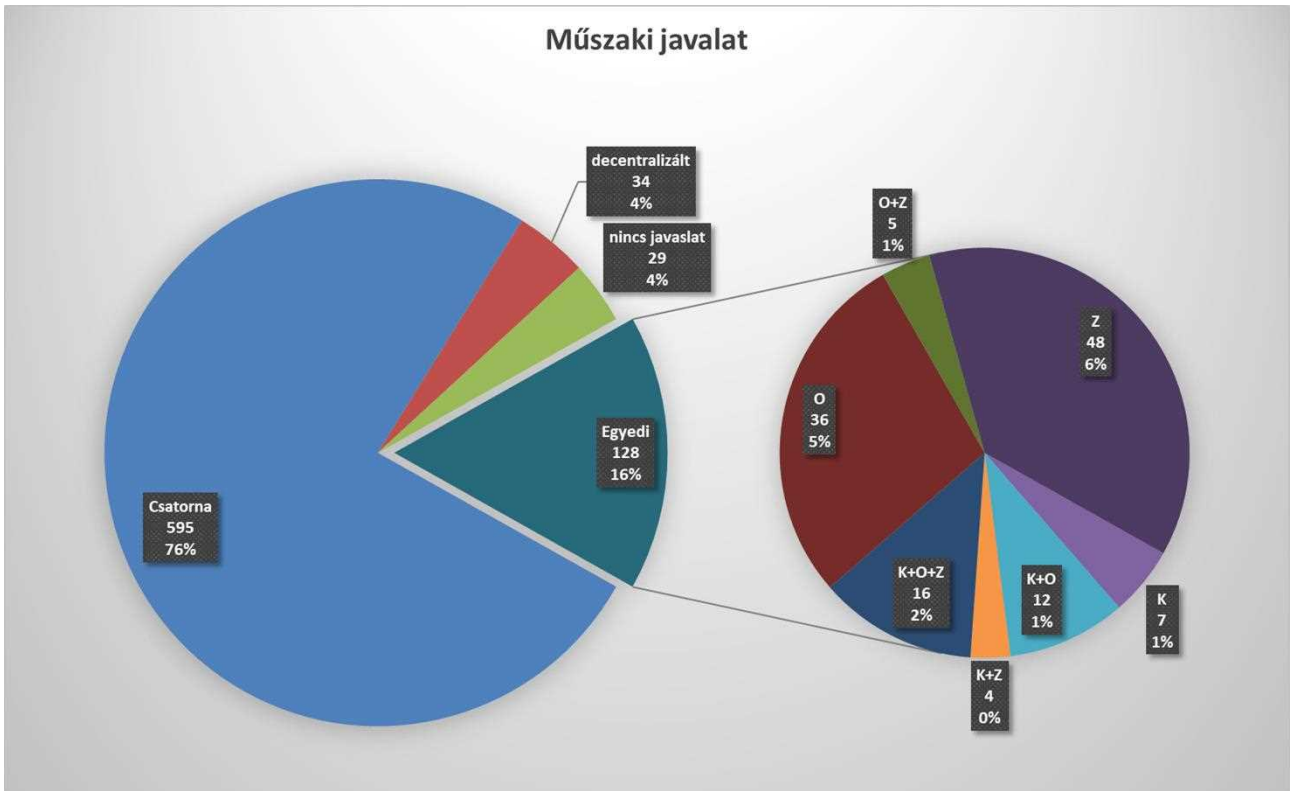
**9. ábra:** 2000 LE alatti települések szennyvízkezelésére adott műszaki javaslatok. CS: csatorna, E: egyedi, NJ: nincs javaslat, DC: decentralizált

317 db település esetében megoldottnak tekintettük a szennyvízkezelést, függetlenül attól, hogy már üzemelő rendszerrel, vagy esetleg csak jóváhagyott megoldással, sikeres pályázattal rendelkeznek-e. A fennmaradó 675 db település esetében adtunk meg műszaki javaslatot a hagyományosnak mondható csatornázás művi telepen történő kezelésére, egyedi megoldások alkalmazására, illetve a kettő kombinációjaként a decentralizált megoldásra. Egy-egy település vonatkozásában több reális műszaki megoldás is elképzelhető. A megoldás eldöntése részletes gazdasági és környezeti szempontok alapján lehetséges.

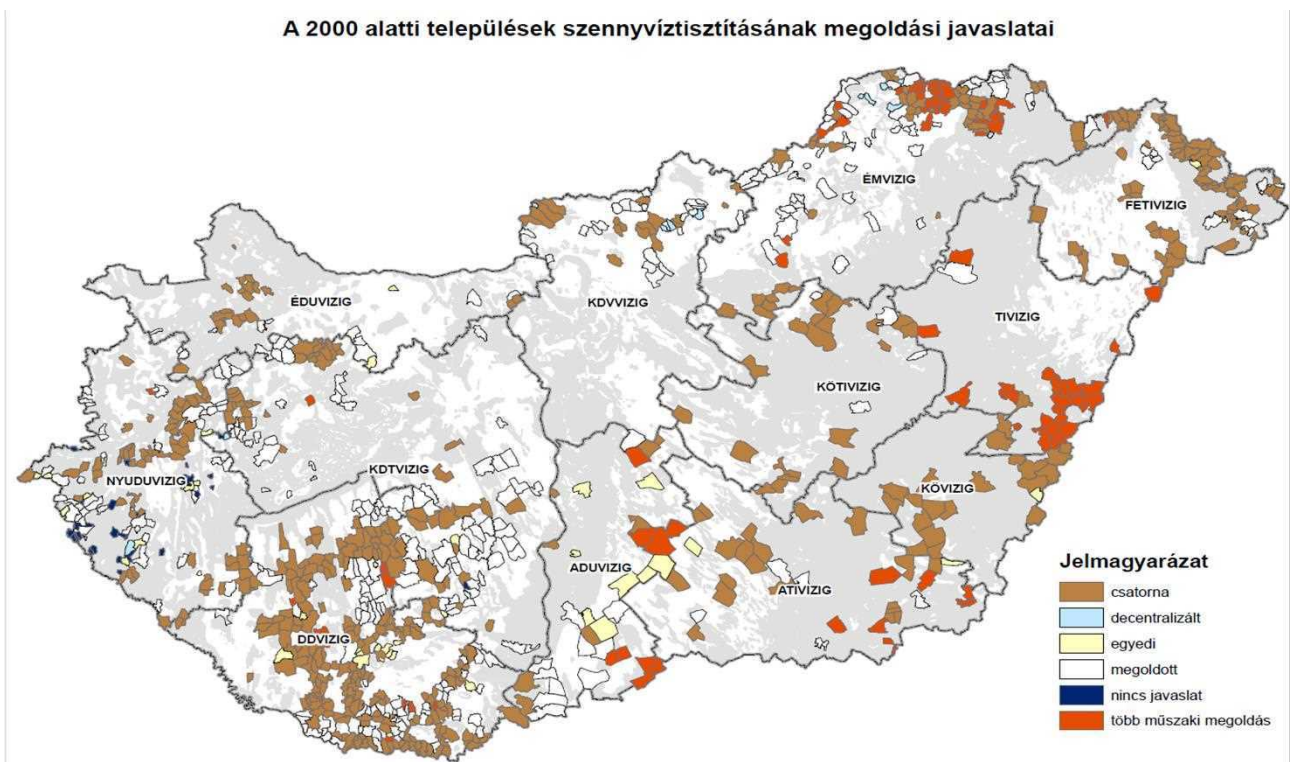
A 10. ábrán látható diagram az egyedi megoldások alkalmazásának – kisberendezés (K), zárt gyűjtő (Z) és oldómedence (O) - arányát részletezi. A 675 településből 128-nál létesítenénk egyedi megoldásokat.

Az általunk javasolt megoldások országos térképi megjelenítése látható a 11. ábrán.

2021-ben ismételten kérték a fent bemutatott 2019-ben készített tanulmány aktualizálást. Akkor már 665 település vonatkozásában kellett elkészíteni a javaslatokat. (A 2000 lakosnál kisebb településeken a szennyvíztisztítási beruházások megvalósításához szükséges kormányzati intézkedésekről szóló 1985/2021. (XII. 27.) Kormányhatározat).



10. ábra: Egyedi berendezésekre vonatkozó műszaki javaslatok. K: kisberendezés, O: oldómedencés, Z: zárt tároló



11. ábra: Szennyvízkezelési megoldási javaslatok

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az évek során számos tanulmány, dokumentáció készült a 2000 LE terhelés alatti települések szennyvízkezelésének megoldására, mely műszaki, gazdasági megfontolások alapján tett javaslatot az egyes településeken alkalmazható megoldásokra. Alapvető probléma volt például az ágazat széttagoltsága, mely téren a 2024-es vízügyi átalakítással remélhetőleg javul a helyzet. Mint minden területen, itt is rendkívül komoly problémát okoz a pénzhiány. Az önkormányzatok olyan irányba haladnak, ahol forrást látnak, ennek eredményeként gyakran valósulnak meg olyan műszaki megoldások, mely a település szerkezetét, környezeti szempontjait figyelembe

véve nem mondhatók optimálisnak. Az EU-s pénzek felhasználásának optimalizálására lenne szüksége, mely a szakma és különböző szakterületek bevonásával valósulhatna meg. Gyakran talákoztunk azzal az esettel, hogy az adott településen egyedi berendezésekkel oldották meg a szennyvízkezelés problémáját, ugyanis az adott időben, csak a VP-s pályázatok nyújtottak megoldást. Magyarországnak teljesíteni kell az Irányelvben vállalt, 2000 LE-nél nagyobb agglomerációkra vonatkozó kötelezettségeit, így viszont az EU-s források elfogyásával jelenleg nincs támogatási lehetőség a kistelepülések számára.

## ▶ HIVATKOZÁSOK



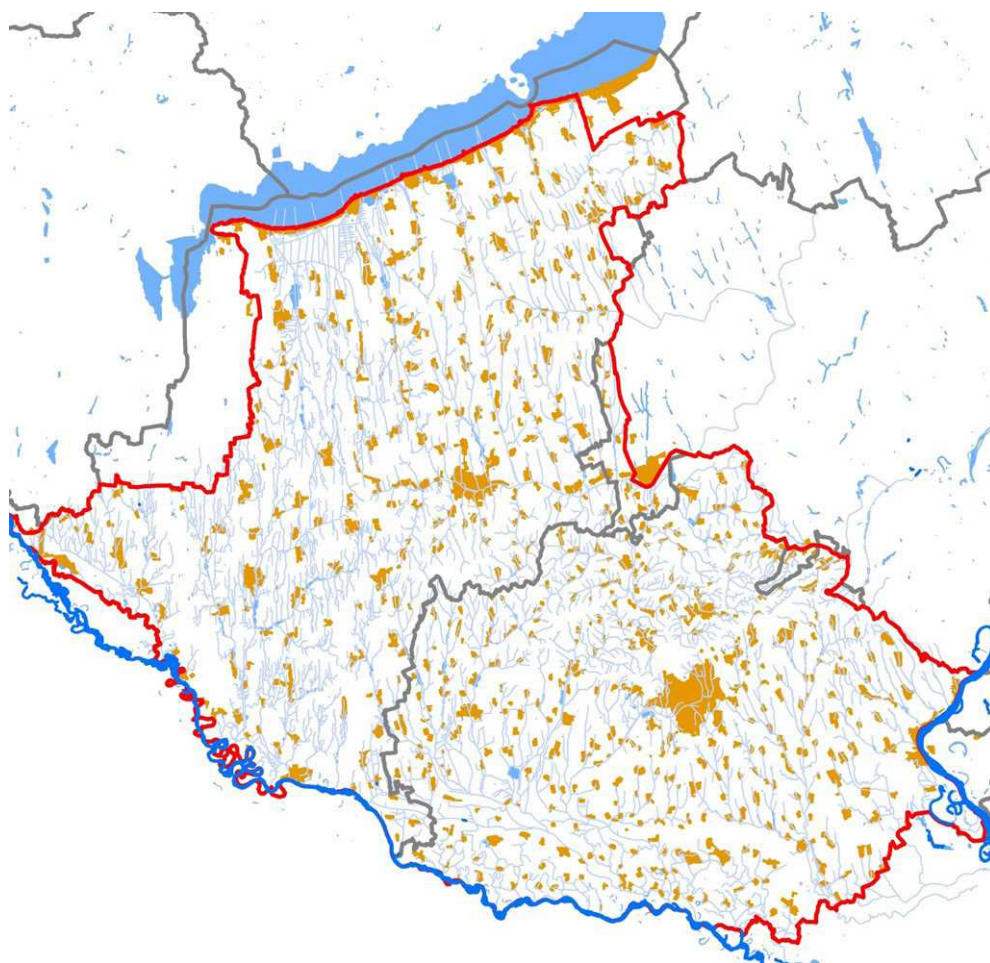
# TELEPÜLÉSI SZENNYVÍZKEZELÉS HELYZETE ÉS TERMÉSZETKÖZELI SZENNYVÍZKEZELÉSI LEHETŐSÉGEK A DÉL-DUNÁNTÚLI VÍZÜGYI IGAZGATÓSÁG MŰKÖDÉSI TERÜLETÉN

Szerző: Juhász Zoltán – Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság

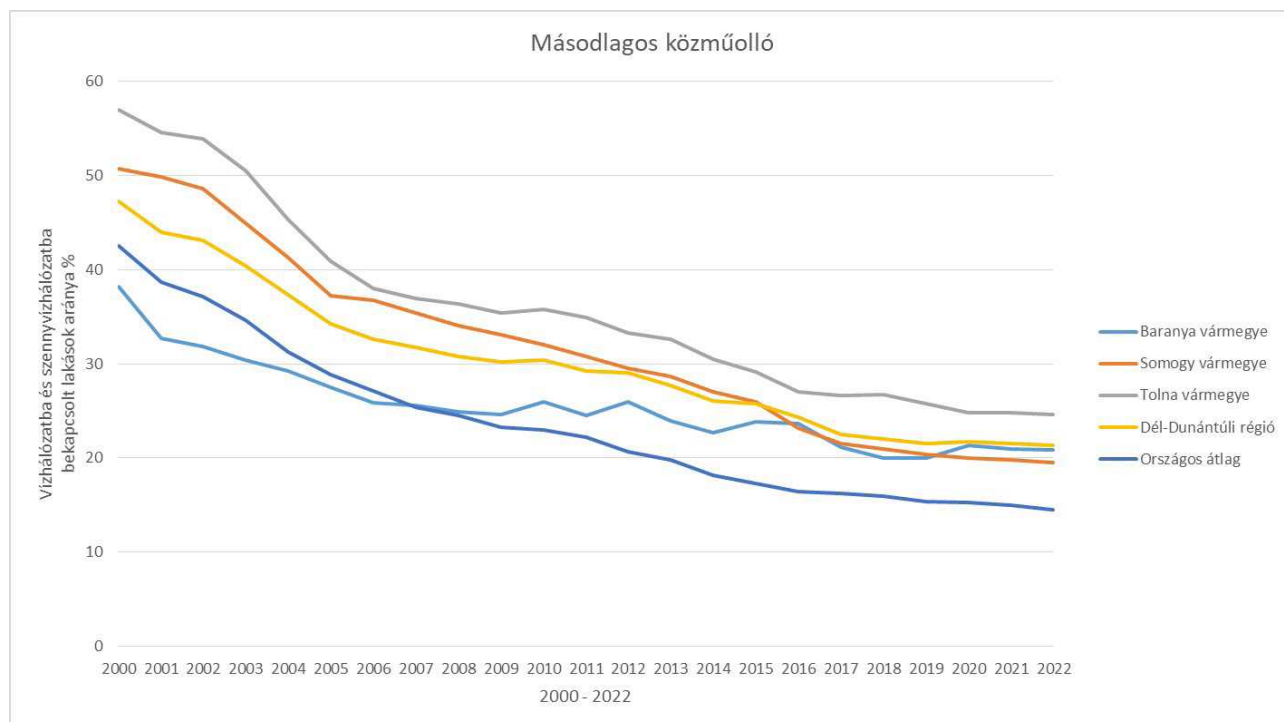
## MŰKÖDÉSI TERÜLET

A Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság működési területe közel 10.000 km<sup>2</sup> kiterjedésű, melynek nagy része Somogy és Baranya vármegyében, kisebb része Tolna vármegyében, 11 település terül el, észak-déli irányban a Drávától a Balatonig. A terület jellemzően

dombvidéki jellegű. Síkvidéki területei a Duna, Dráva és a Balaton mentén – a régió határán találhatóak. A területen hozzávetőleg 650 ezer ember él összesen 528 településen. Jelenleg a települések között huszonkilencnek van városi rangja, jellemző az aprófalvas településszerkezet.



Településszerkezet és vízfolyáshálózat a DDVIZIG működési területén



*Közműolló alakulása (KSH adatok alapján)*

A térség sűrű vízfolyás hálózattal rendelkezik, sűrűsége 1,17 km/km<sup>2</sup>, ami az országos átlag többszöröse. A sűrű vízfolyáshálózat és a dombvidéki jelleg miatt a területre a tavak nagy száma (közel ezer tó) jellemző. Mindezek ellenére esetenként problémát jelent a megfelelő vízhozamú tisztított szennyvíz befogadó, rendelkezésre állása.

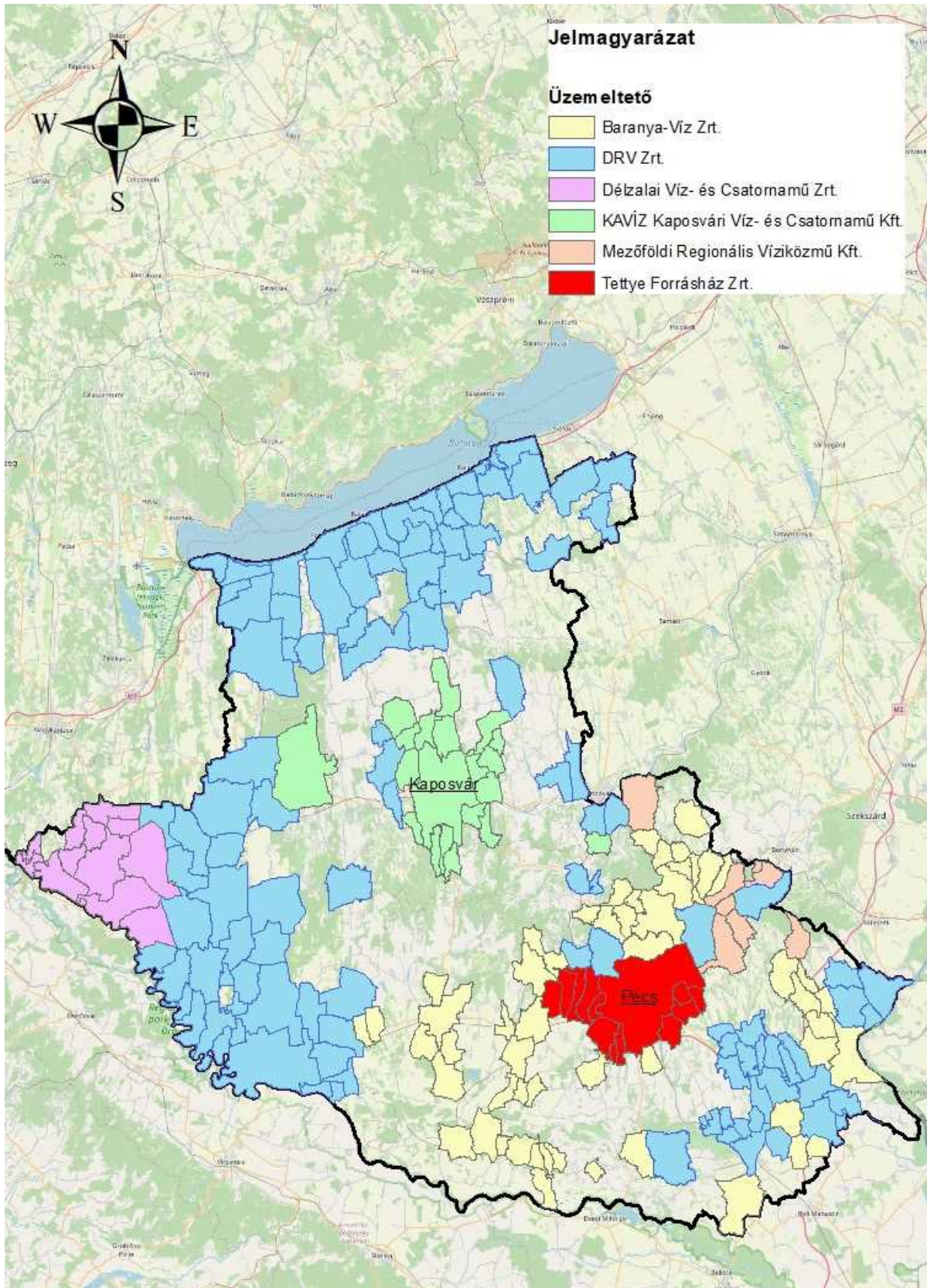
## TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

Az 1990-es évek első felére a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság működési területén lévő települések döntő többsége már rendelkezett vezetékes vízellátó hálózattal, azonban a települések szennyvízelvezetése és –tisztítása nem tudta követni ezt a tendenciát. Az évtized közepére jellemzően a megyei jogú városi ranggal rendelkező Pécs és Kaposvár, valamint azok a városok, települések rendelkeztek szennyvízkozművel, ahol valamilyen

jellegű, jellemzően feldolgozó ipari, vagy bányászati tevékenység is folyt, vagy jelentős volt az üdülónépesség.

Igazgatóságunk működési területét érintően a Balaton déli partján három szennyvízelvezetési régió került kialakításra, az 1990-es évekre, melyek jellemzően ekkor még csak a parti települések szennyvízelvezetését és –tisztítását biztosították.

Az Európai Uniós csatlakozás felgyorsítását megelőző időszakban kiadott szennyvízelvezetési agglomerációk kialakítására, a kialakítás vizsgálatára vonatkozó Kormányrendeletek (25/2002. (II.27.) és 26/2002. (II.27.) Kormányrendeletek), valamint a pályázati támogatások (Címzett és Céltámogatás, KEOP, majd KEHOP) következtében nagyszabású tervezési munka kezdődött meg. Ennek következtében a 2000-es évek elejére jellemzően, meglévő



*Szennyvízközmű üzemeltetők a DDVIZIG működési területén*



nagyobb kapacitású szennyvíztisztító telepekhez kapcsolódóan – részben azok korszerűsítésével, szükséges kapacitásbővítésükkel – a vízminőség szempontjából érzékeny területű (Balaton déli vízgyűjtőjén), illetve sérülékeny vízbázisvédelmi területű településeken megkezdődtek a szennyvízkezelési fejlesztések.

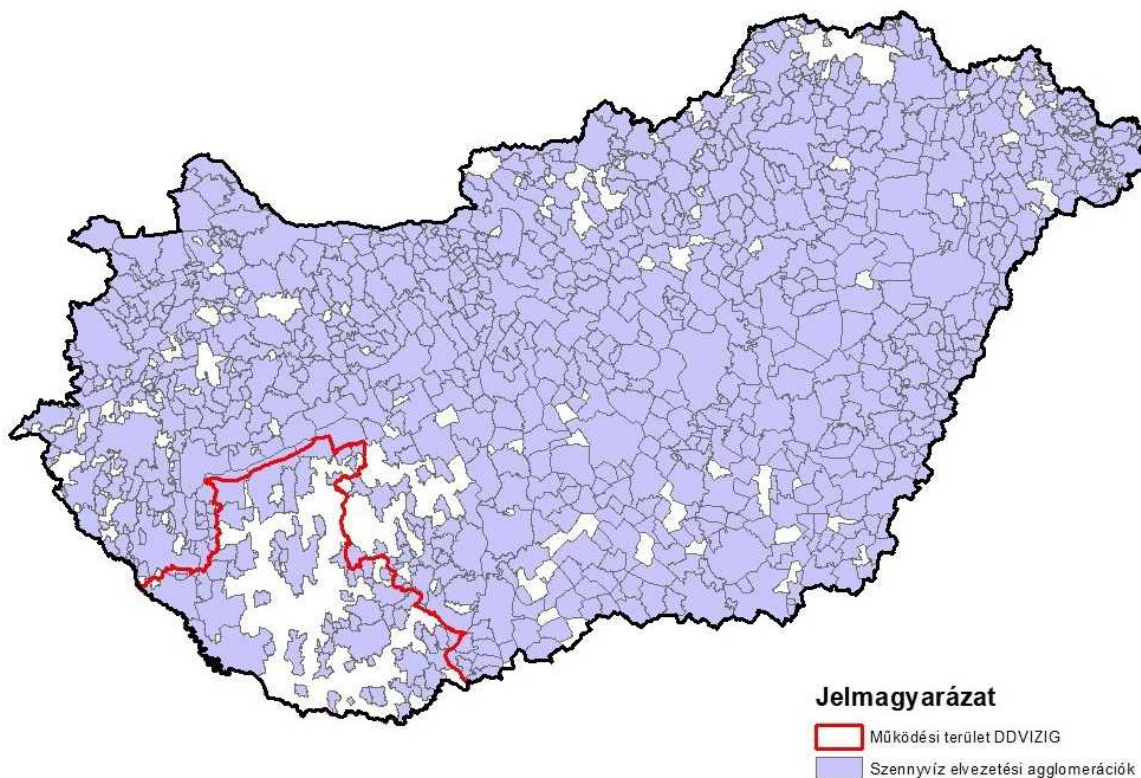
Mindezek mellett több kistelepülés, például Olasz és Hásságy települések közös szennyvízrendszer kialakításával ÖKO Támogatással Önállóan valósították meg szennyvízrendszerüket.

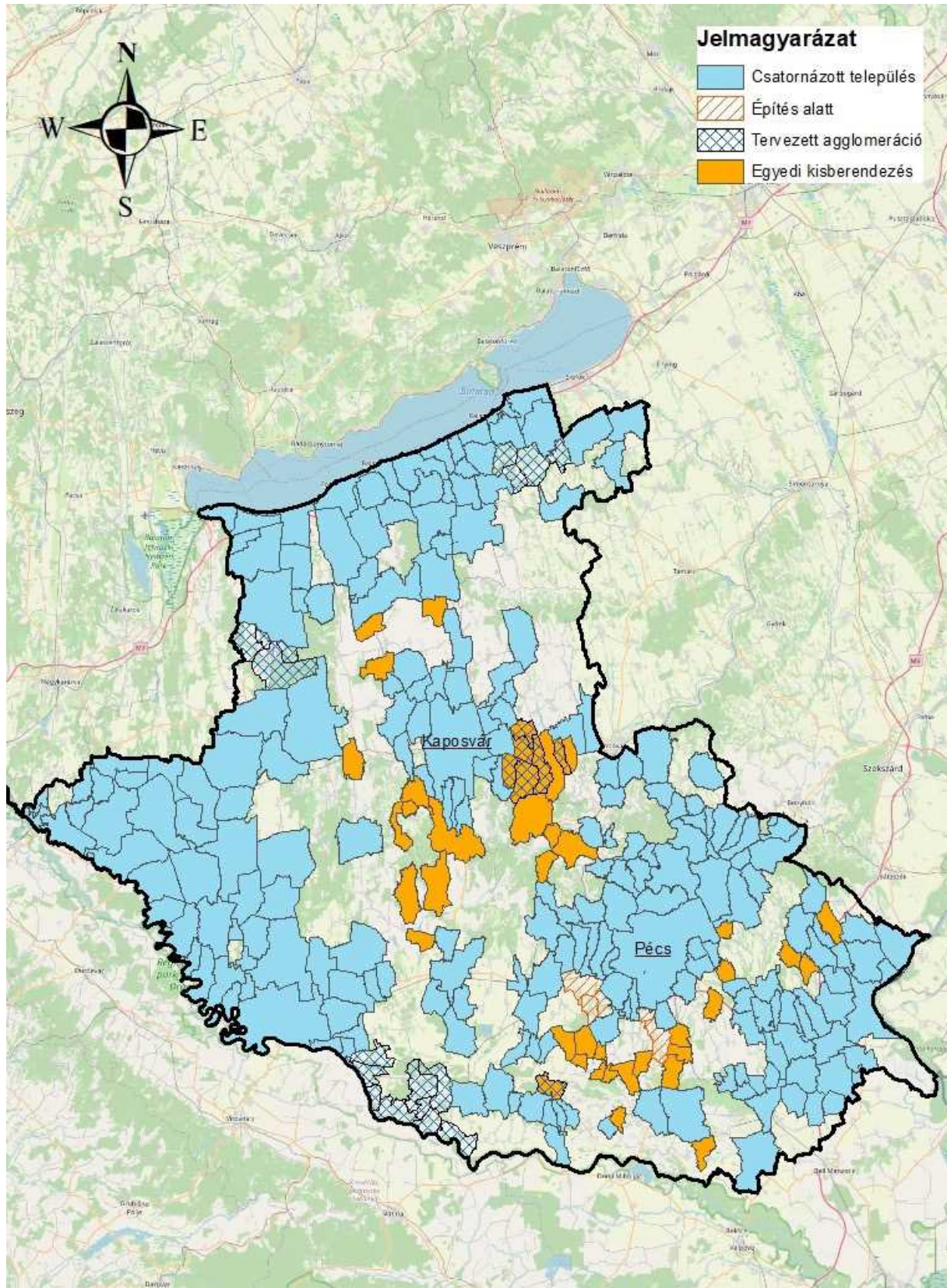
A 2010-es évek végére az EU 91/271/EGK irányelvvel összhangban az Igazgatóság működési területén lévő valamennyi 2000

lakosegyenérték (továbbiakban: LE) feletti településen a szennyvízkezelés ellátás biztosítottá vált.

### AZ ÜZEMELTETŐI HÁTTER VÁLTOZÁSA

A rendszerváltásig, nagyjából az 1990-es évek elejéig a kiépült szennyvízkezelőket három vízmű vállalat, Dunántúli Regionális Vízmű Vállalat, a Baranya Megyei Vízmű Vállalat és a Pécsi Vízmű Vállalat üzemeltette. Az 1992-1995 közötti decentralizáció következtében kialakult helyzetben a működési területen 41 db víziközmű üzemeltető volt a 2010-es évek elejéig, több üzemeltető egy-egy önkormányzat illetékességi területéhez igazodva, mellyel az üzemeltetés tárgyi és személyi feltételei jelentősen korlátozódtak, egy-egy





*Szennyvízkezelés jelenlegi helyzete DDVIZIG működési területén*

kisebb hibaelhárításhoz is a nagyobb üzemeltetők segítségét kellett igénybe venni.

2010-2015 évek között jogszabályi változást követően 6 db víziközmű üzemeltető folytatta a települések szennyvízközműveinek üzemeltetését az alábbiak szerint:

- Dunántúli Regionális Vízmű Zrt.
- Tettye Forrásház Zrt.
- KAVÍZ Kaposvári Víz- és Csatornamű Kft.
- Baranya-Víz Zrt.
- Mezőföldvíz Kft.
- Délzalai Víz- és Csatornamű Zrt.

## A SZENNYVÍZKEZELÉS JELENLEGI HELYZETÉNEK ISMERTETÉSE

A vizsgált területen a szennyvízkezelés jelenlegi helyzete országos viszonylatban kedvezőtlen állapotot tükröz, melyhez nagymértékben hozzájárul az aprófalvas településszerkezet, a domborzati viszonyok és a pénzügyi források rendelkezésére állásának hiánya.

A Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság működési területén található 528 db település közül Baranya vármegyében 108 db, Somogy vármegyében szintén 108 db, Tolna vármegyében pedig 6 db ellátott agglomerációs településrész található.

A keletkező szennyvizek elvezetése és tisztítása jelenleg tehát 222 db településrészben megoldott, melyen felül 5 db településen van jelenleg folyamatban a szennyvízelvezető hálózat kiépítése a pécsi agglomerációhoz történő csatlakozással, további 47 db településen pedig a VP6-7.2.1.2-16 „Egyedi

szennyvízkezelés” pályázat keretében szennyvíztisztító kisberendezések telepítése vagy természetközeli szennyvíztisztító telep megépítése valósult meg.

További 28 db település érintett agglomerációs felterjesztési kérelemmel, mely anyagi forrás vagy a kérelem jóváhagyásának hiányában nem valósult meg. A települések Sellye város mellett a Dráva-folyó szomszédságában, a Kaposvártól délkeletre eső területeken, valamint Marcali város térségében helyezkednek el.

Az Igazgatóság működési területén összesen 66 db közüzemi szennyvíztisztító telep üzemel, melyből 40 db Baranya, 24 db Somogy, 2 db pedig Tolna vármegyében található.

Bezedek, Drávacsepely és Somogyicsicsó szennyvíztisztító telepek esetében SBR rendszerű biológiai tisztítást követően a tisztított szennyvíz elhelyezés nyárfás öntözőtelepeken, míg a többi szennyvíztelep esetében felszíni befogadóba történik a tisztított szennyvíz bevezetés.

A szennyvíztisztító telepek kapacitását tekintve a pécsi és a kaposvári regionális telep emelhető ki.

Természetközeli szennyvízkezelés alkalmazásának feltételei, szabályozási környezet, jogszabályi követelmények

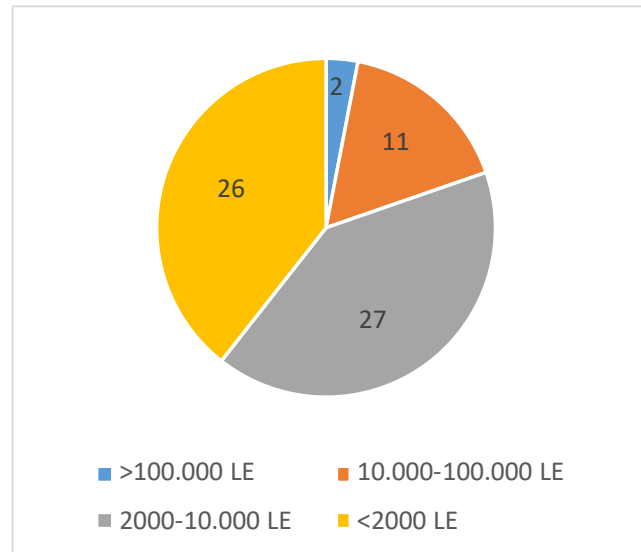
A természetközeli szennyvíztisztítás megvalósítását megelőzően szükséges megvizsgálni annak jogszabályi környezethez való illeszkedését, fel kell tárnai a kapcsolódó jogszabályi

követelményeket, előírásokat, esetleges kizáró okokat.

Vizsgálni szükséges a települések közigazgatási területén a felszín alatti vizek minősége szempontjából fokozottan érzékeny vagy magas talajvízállású területek előfordulását. A felszín alatti víz állapota szempontjából érzékeny területeken levő települések besorolását a 27/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet, míg a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízilétesítmények védelméről szóló előírásokat a 123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet tartalmazza.

Figyelembe kell venni a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról szóló 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet előírásait, továbbá a VI-TUKI Nonprofit Kft. által kiadott listát (1991-1995) a magas talajvízállású településekről. A Kormányrendelet 2.§ 19. pontja szerint magas talajvízállású terület az a terület, ahol a talajvíz felszíntől számított legmagasabb szintje 1,5 méter felett van. A jogszabály szerint törekedni kell a természetközeli szennyvíztisztítási megoldások alkalmazására.

A tisztított szennyvízzel szemben támasztott követelmények szempontjából vizsgálni szükséges a földtani közegre és a felszín alatti vízre vonatkozó szennyezettségi határértékeket (6/2009. (IV. 14.) KvVM–EüM–FVM együttes rendelet mellékletei), a szennyvíztisztító telep üzemeltetése nem eredményezheti tartósan a földtani közeg jelenlegi állapotának romlását, illetve rendeletben rögzített (B) szennyezettségi határértékeknél kedvezőtlenebb állapotát.



*Szennyvíztisztító telepek biológiai kapacitásának megoszlása*

Fentiekén kívül szükséges a további vonatkozó jogszabályi előírások figyelembe vétele is.

## TERMÉSZETKÖZELI SZENNYVÍZKEZELÉS ALKALMAZÁSÁNAK ELŐNYEI

A csatornázatlan települések esetében a környezeti minőség javítása, az infrastruktúra fejlesztése céljából a kommunális eredetű szennyvizek elvezetése és tisztítása az elsődleges településfejlesztési célok között szerepel. Az egyes műszaki megoldások közül a leggazdaságosabb változatot kell az egyes településeknek kiválasztani úgy, hogy a lakosság elégedettsége mellett a környezetvédelmi, természetvédelmi célok és a jogszabályi előírások is teljesülnek. A lehetséges megoldások közül a legtöbb esetben járható út a természetközeli tisztítótelepek kiépítése településenként.

A természetközeli szennyvíztisztítási technológiák környezetbe illő, környezetbarát technológiák, melyek esetében a szerves anyag lebontása energiaigényes levegőbevitel és vegyszeradagolás nélkül, a természetes



Természetközeli szennyvíztisztítás folyamata

öntisztulási folyamatokra alapozva valósul meg.

Egy olyan természetközeli lélettér, mesterséges talaj-víz-növény ökoszisztéma van jelen, ahol a főszerep a természetben lejátszódó fizikai, kémiai és biológiai folyamatoké; a szervesanyag lebontást mikroorganizmusok végzik külön oxigén bevitel nélkül. Többnyire nincs szükség elektromos energia- és vegyszer felhasználásra, beruházási és működési költségük kisebb, mint az eleveniszapos technológiáé.

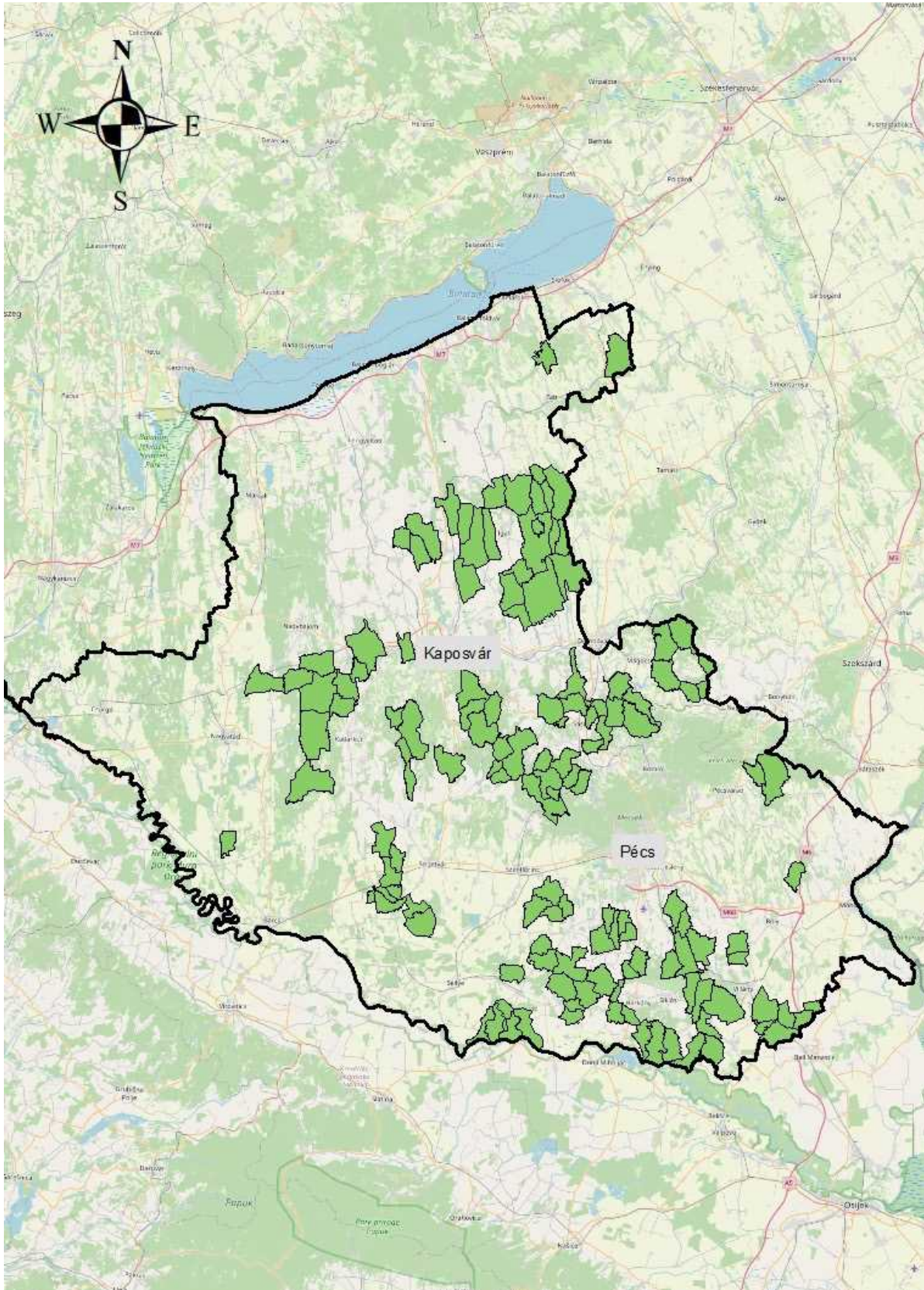
A természetközeli szennyvíztisztítási technológiák egyaránt alkalmazhatóak a kommunális eredetű nyers szennyvizek teljes biológiai tisztítására, utótisztítására és végleges elhelyezése.

## TERMÉSZETKÖZELI SZENNYVÍZKEZELÉS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA

A Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság működési területén az elmúlt évtized végére az EU Szennyvíz Irányelvvel (91/271/EGK Irányelv) összhangban megvalósult a 2000 LE feletti települések szennyvízkezelés ellátottsága.

A következő lépcső az 1000-2000 LE közötti települések szennyvízellátottságának 2043-ig történő megvalósítása lesz az új EU-s Szennyvíz Irányelv alapján.

A természetközeli szennyvízkezelés 2000 LE-ig gazdaságos, azon települések esetében, ahol a lakosság meghaladja a 600 LE-t, célszerű összehasonlítani más rendszerekkel (pl. SBR, ún. Szakaszos Betáplálású Reaktorok).



*Természetközeli szennyvízkezeléssel érintett települések*

A jelenleg a szennyvízközművel nem rendelkező települések szennyvízkezelése alternatíváinak feltárására a közeljövőben szennyvízkoncepció kidolgozását tervezzük. A koncepció készítésének előfutáraként előzetesen két feltételt megvizsgáltunk, úgymint mely települések nem találhatóak a magas talajvízállású területen, illetve nem a Balaton vízgyűjtőjén helyezkednek el, mely teljes egészében érzékeny terület. Ezen kritériumoknak összességében 135 db település felelt meg és így nyújthat alternatívát a természetközeli szennyvízkezelés.

Ebből 15 db település 600 LEÉ feletti, ahol további vizsgálat szükséges a művi vagy a természetközeli szennyvízkezelés gazdaságosságának megállapítására.

A kiválasztott települések esetén vizsgálni szükséges, hogy a természetközeli szennyvíztisztító telep ne kerüljön vízbázisvédelmi területre, továbbá, hogy az adott településen az önkormányzat rendelkezik-e megfelelő területtel.

Érdeemes továbbá megvizsgálni azt is, hogy egyes, egymáshoz közel eső kis létszámú települések összekapcsolhatóak-e, amennyiben a domborzati viszonyok ezt lehetővé teszik.

## ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK

### 1. Egyházaskozári szennyvíztisztító telep Üzemeltető: Baranya-Víz Zrt.

A szennyvíztisztító telep a 2010-es évek elején került kialakításra a település szennyvízhálózatán keresztül összegyűjtött kommunális jelegű szennyvizeinek megtisztítására. A telep Egyházaskozár település külterületén, a belterülettől dél-keleti irányban, lakott területektől kb. 200 m-es távolságban épült.

A telepre beérkező kommunális szennyvizek mechanikai tisztítása kézi rácsműtárgyon kezdődik, majd a kör keresztmetszetű előülepítő aknában folytatódik, amelybe egy acélszerkezet lett beépítve. Ezzel akadályozzák meg - a hidegrohasztóként is funkcionáló - műtárgyban a nagyobb mértékű iszapfelúszást. Ezt követően szennyvízátemelőn keresztül 6 db egyenként 600 m<sup>2</sup> területű, fóliával szigetelt vízszintes átfolyású nádágyas, gyökérszórás medencébe kerülnek bevezetésre.



*Kézi tisztítású rács*



*Kétszintes ülepítő*



*Nádágyas, gyökerteres medence*



*Stabilizációs tó*

A kezelt szennyvizek stabilizációs tóba kerülnek, majd labirint jellegű fertőtlenítő medencéből gravitációs bevezetéssel a befogadó Hábi-patakba kerülnek.

A szennyvíztisztító telep 2011-ben került üzembehelyezésre, az üzemeltető elmondása alapján a szűrőközeg halastavi iszap volt, mely folyamatosan eltömődött, ezért az Önkormányzat, mint a szennyvíztisztító telep tulajdonosa szűkös pénzügyi forrásaira tekintettel a hat gyökértérből négy esetében a szűrőközeget zúzott köre cserélte, a két további gyökértér ezért nem látja el a jelenlegi funkcióját.

Üzemeltetéssel kapcsolatos problémaként jelentkezik a szennyvíztelep esetén, hogy a meglévő zúzott kő szűrőközeg cseréje esetén azt veszélyes hulladékként tudja csak elszállítani.

Az üzemeltető részére további gondot jelent, hogy a méretezéskor nem a kistelepülésekre jellemző nyers szennyvíz minőségét vették figyelembe, amely egyes paraméterek tekintetében kétszeresen meghaladja a tervezéskori értéket, illetve egyes közületek, például közintézmények konyhai szennyvizei esetében nincs külön előtisztítás a hálózatba történő bevezetést megelőzően (zsírfogó nem kerül alkalmazásra).

A telepre beérkező hidraulikai és/vagy biológiai többletterhelés esetén lényegesen nem lehet beavatkozni a tisztítási folyamatba, ezért pályázati források rendelkezésre állása esetén az üzemeltető a jelenlegi tisztítási technológiát szeretné kiegészíteni az előülepítő és a gyökérezónás medencék közé illesztett eleveniszapos tisztítási eljárással, valamint a kézi tisztítású rácsműtárgyat át kívánja alakítani gépi tisztításúvá. Az átalakított telepnél a jelenlegi gyökérezónás medencék így utótisztító egységként funkcionálnának. Várhatóan az átalakított telep energiaigénye, köszönhetően a meglévő természetközeli eljárásnak jóval alacsonyabb, mint egy csupán eleveniszapos technológiával üzemeltetett szennyvíztisztító mű.

## **2. Bakonyai Erdei Iskola**

Üzemeltető: Mecsekerdő Zrt.

A HIDRO-CONSULTING Kft. által tervezett Bakonyai Erdei Iskola természetközeli szennyvízkezelő telepe 2014-ben került megvalósításra és azóta eltelt időszakban fenntartással





**Nyers szennyvíz minősége**

KOI: 888 mg/l  
 BOI<sub>5</sub>: 444 mg/l  
 LA: 520 mg/l  
 ÖN: 81 mg/l  
 NH<sub>4</sub>-N: 74 mg/l  
 ÖL: 22 mg/l

**Nyers szennyvíz minősége**

KOI: 90 mg/l  
 BOI<sub>5</sub>: 45 mg/l  
 LA: 25 mg/l  
 ÖN: 20 mg/l  
 NH<sub>4</sub>-N: 5 mg/l  
 ÖL: 5 mg/l

Bakonyai Erdei Iskola szennyvízkezelésének technológiai folyamatábrája

kapcsolatban csak az előüleptető szippantása jelentkezett költségként.

A folyamatára szemlélteti, hogy a technológiai sor elején I. tisztítási fokozatként, mechanikai tisztításra rácsaknát követően előüleptető került betervezésre. Ezt követően gyökérszónás biológiai tisztítás került betervezésre többlépcsősen, először előszűrő, majd kombinált műtárggyal, ezt követően egy utótisztító tóval. A kezelő medencék fóliabélelést kaptak.

A tapasztalatok alapján a kiépített tisztító telep a nyers szennyvízben mért szennyezőanyagok koncentrációját kb. egy nagyságrenddel képes lecsökkenteni, így megfelel a befogadóra előírt határértékeknek.

Működési területen kívül, intézményinél nagyobb telep Bugacpusztán üzemel kb. 300 fő ellátására.

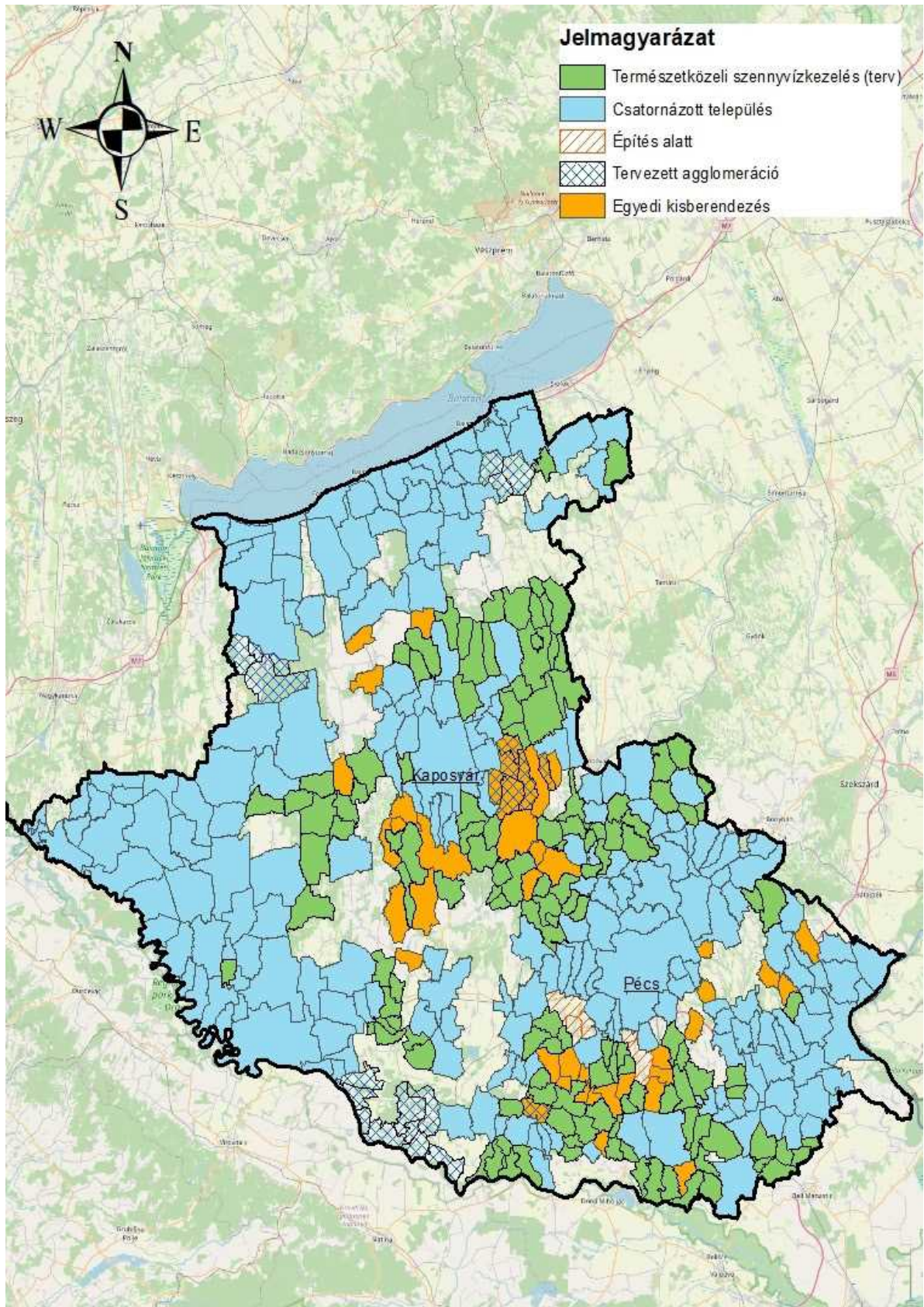
A természetközeli rendszerek esetében 15-20 évig karbantartási igény nem merül fel.

**ÖSSZEFOGLALÁS, KONKLÚZIÓ**

A Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság működési területén az elmúlt évtized végére az EU Szennyvíz Irányelvvel (91/271/EGK Irányelv) összhangban megvalósult a 2000 LE feletti települések szennyvízkezelésének ellátottsága.

Az elkövetkező két évtized kihívása az 1000-2000 LE közötti települések szennyvízellátottságának 2043-ig történő megvalósítása lesz az új EU-s Szennyvíz Irányelv alapján.

Jelenleg az energiamentes természetközeli szennyvízkezelési megoldások Igazgatóságunk működési területén települési szinten, nem kimondottan terjedtek el, ezért a településszerkezeti viszonyokra tekintettel javasolt ezen alternatíva vizsgálata. Nagyon fontos, hogy már a tervezési időszakában azonosításra kerüljenek mindazon körülmények, melyek az üzemeltetést problémamentessé tehetik, gondolva itt a kistelepülések kommunális szennyvízeinek minőségére és a közületi szennyvízek szükséges mértékű



Működési terület ellátottsága természetközeli szennyvízkezelés megvalósítása esetén

előkezelésére, a természetközeli tisztítási vonal megfelelő megválasztására.

A természetközeli szennyvíztisztítás technológia megfelelő kialakítása esetén a beruházási költségek ugyan magasabbak lehetnek, mint eleveniszapos művi eljárások esetében, azonban abból adódóan, hogy üzemeltetésük lényegében energiamentes, összességében gazdaságosabbnak bizonyulhatnak.

A természetközeli szennyvízkezelés 2000 LE-ig gazdaságos, azon települések esetében, ahol a lakosság meghaladja a 600 LE-t, célszerű összehasonlítani más rendszerekkel is (pl. SBR, szakaszos betáplálású reaktor).

A természetközeli megoldások alkalmazásával a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság



*Kombinált gyökérvonalas műtárgy és utótisztító tér*

működési területén a jelenleg ellátott települések száma 405 db-ra emelkedhetne. Ez a kb. 26 százalékos növekedés további 39600 lakos és 18000 lakás ellátását eredményezhetné.

Mindezek megvalósulását segítené elő a megfelelő pályázati források rendelkezése állása.

## ▶ HIVATKOZÁSOK

### A SZERZŐRŐL:



**Juhász Zoltán** 1996. októbertől dolgozik a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóságon. 1996 – 2014-ig a Víziközmű Osztályon ügyintézőként, vízügyi hatósági eljárásokhoz kapcsolódó szakmai vélemények készítésével foglalkozott, emellett különböző víziközmű szakterületet érintő szakmai koncepciók elkészítésében - a 1990-es évek végén az Igazgatóság által készített Szennyvíz-koncepcióban, majd a 2000-es évek derekán a Dél-dunántúli Ivóvízminőség Javító Programban - vett részt.

2012-2014-ig a Dél-dunántúli Területi Vízgazdálkodási Tanács titkári feladatait is ellátta. 2014 szeptembertől 2023 januárjáig a Vízrendezési és Öntözési

Osztályon vízrendezési referens volt, majd ezt követően napjainkig az Igazgatóság Települési Vízgazdálkodási Csoportjának Csoportvezetői feladatait látja el.

Az egység a víziközmű, valamint a települési csapadékvíz-gazdálkodással kapcsolatos szakterületi feladatokat látja el, melyek közé tartozik például a helyi vízkárelhárítás, továbbá a települési vízkárelhárítási, településrendezési és integrált települési vízgazdálkodási tervek (ITVT) szakterületi véleményezése és véleményezésének koordinálása is.

# MÉRLEGEN AZ EU TAGSÁG 20 éve.

*Felkészülés a jövőre*

TELEPÜLÉSI VÍZGAZDÁLKODÁSI KONFERENCIA ÉS KÖZÖSSÉGI TERVEZÉS

**Tata, 2024. november 14-15.**



TÁRSSZERVEZŐK



KÉK·BOLYGÓ  
ALAPÍTVÁNY

**RÉSZLETEK**

<https://www.maszesz.hu/orszagos-konferencia-2024/>

# NEGYEDIK FOKOZAT A GYAKORLATBAN – SVÁJC ÉS NÉMETORSZÁG AZ ÉLMEZŐNYBEN

Bezsenyi Anikó<sup>1,2</sup>, Nagy-Mezei<sup>1,3</sup> Csenge, Makó Magdolna<sup>1</sup>

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

2 Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest

3 Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, Agrárkörnyezettani Tanszék 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

## ABSZTRAKT

‘A települési szennyvíz kezeléséről szóló’ 91/271/EGK irányelv módosítása nehéz feladat elé állítja a hazai szennyvíztisztító telepek jelentős részét, hiszen viszonylag rövid határidőn belül (2045) költséges eljárást kell beépíteni a meglévő rendszerekbe a szerves mikroszennyező anyagok megfelelő eltávolítása érdekében. Kevés nemzetközi tapasztalat áll rendelkezésünkre, és még kevesebb a nemzeti szinten is jól felépített szakmai-tudományos-politikai hálózat, illetve program, amely mintaként szolgálhat Magyarország számára és a megvalósítást segítheti. Németország és Svájc épített fel tartományi, illetve nemzeti programot a mikroszennyezők mennyiségének csökkentésére, amelyeknek talán a legfontosabb pillérét jelenti a szennyvíztisztítási technológiák fejlesztése, a szennyvízkezelő rendszerek kiegészítése negyedleges tisztítással. E két ország programját és a megvalósítást segítő társadalmi-szakértői-politikai hálózatát vesszük górcső alá.

## BEVEZETÉS

Az utóbbi években zajlott ‘A települési szennyvíz kezeléséről szóló’ 91/271/EGK irányelv módosítása, amely talán legköltségesebb igénye a negyedik tisztítási fokozat kötelező megvalósítása a 150 000 LE (lakosegyenérték) feletti

terhelésű szennyvíztisztító telepeken. A határidő jelenleg 2045. A 10 000 – 150 000 LE terhelésintervallumba eső tisztítóművek között is akad majd érintett indokolt esetben (érzékeny befogadó).

A hagyományos szennyvíztisztítási technológiában a mikroszennyezők eltávolítása általában nem teljes és a hatékonysága is változó. Néhány gyakori gyógyszervegyület esetében 12,5% és 100% között mozog. Ennek oka főként a molekulák sajátosságaiban (pl. hidrofóbítás, biológiai bonthatóság) és kis koncentrációjukban keresendő, amely az eltávolításukat a legtöbb esetben megnehezíti. Ezért továbbra is kiemelt feladat marad a szennyvíztisztítás optimalizálása a mikroszennyező anyagok eltávolítására, amely szinte kizárólag csak negyedik fokozat telepítésén keresztül valósítható meg. A számításba vehető technológiák közül a tisztítási hatásfok, a beruházási és az üzemeltetési költségek, valamint az energiaigény figyelembevételével, az oxidáció ózonnal és az adszorpció aktív szénen (PAC, GAC) tekinthető nagyüzemi méretekben is megvalósítható megoldásnak, illetve a különböző membrán-technológiák, membrán bioreaktorok (MBR) is megfelelő választást jelenthetnek [1]. Az utóbbi pár évben felzárkózni látszik az ózonnal történő oxidáció mellé egy másik nagyhatékonyságú

oxidációs eljárás is (Advanced Oxidation Processes, AOP), amelynél az ionizáló sugárzást elektrongyorsító segítségével állítják elő [2].

Ózonos oxidációt sok helyen alkalmaznak a világban (Japán, USA, Svájc, Németország stb.) a szennyvízkezelésben, de kizárólag Európában épültek ki olyan stratégiai rendszerek, ahol szennyvíztisztító telepek hálózata hosszútávú környezetvédelmi célok érdekében alkalmazza ezt a technológiát mikroszennyező anyagok eliminálására. Az Amerikai Egyesült Államokban fertőtlenítésre használják, Japánban a vizek reciklizációját oldották meg ezzel az eljárással, de főleg a szerves szennyeződések (nem mikroszennyezőket) oxidálják el ózonnal. Ugyanez elmondható a többi, korábban említett eljárásról is, azaz nem negyedik fokozatként üzemelnek számtalan szennyvíztisztítóban [3][4].

Európában Németország és Svájc épített fel tartományi vagy nemzeti programot a mikroszennyezők mennyiségének csökkentésére, amelynek talán a legfontosabb pillérét jelenti a szennyvíztisztítási technológiák fejlesztése, a szennyvízkezelő rendszerek kiegészítése negyedleges tisztítással. Miért és hogyan tették ezt? Ennek jártunk utána. A német és svájci tapasztalatok segíthetnek a hazai szennyvíztisztító telepeknek az optimális technológia megválasztásában, illetve utat mutatnak egy nemzeti szakmai-tudományos-politikai hálózat kiépítéséhez, amely nélkül nem lehet megfelelni a direktíva támasztotta követelményeknek.

### **NÉMETORSZÁG: ÉSZAK-RAJNA-VESZTFÁLIA**

A Rajna Nyugat- és Nyugat-Közép-Európa egyik legjelentősebb folyója. 1233 km hosszú, és vízgyűjtőjének mintegy 60 millió lakosa van kilenc országban (Ausztria, Belgium,

Franciaország, Németország, Olaszország, Liechtenstein, Luxemburg, Hollandia és Svájc), az Alpoktól az Északi-tengerig. Két forráspatakából, a Felső- és Alsó-Rajnából ered a Graubünden nevű svájci kantonban. A folyó érinti Liechtensteint és Ausztriát, majd a Boden-tóba torkolva éri el Németországot. Ezután a Rajna a német-svájci, később pedig a német-francia határon folytatja útját észak felé. A Ruhr-vidéket átszelve a folyó nyugat felé veszi az irányt, és a Holland-síkságon (Hollandiában) deltatorkolaton keresztül ömlik az Északi-tengerbe [5]. Részletesen a folyó szakaszai az 1. ábrán követhetők.

Ezt az erősen módosult víztestet többnyire az ipari termelés, az urbanizáció és a közlekedés érdekében kezelik. Sajnos a folyó nem csak a szépségéről híres, hanem a 198.735 km<sup>2</sup> vízgyűjtőterületről összeszedett tetemes mennyiségű szennyezőanyagról is. A második világháború után Európa egyik legszennyezettebb víztesteként tartották számon [5]. Több mint fél évszázaddal később a mikroszennyezők hasonlóan problematikusnak bizonyultak. 2011-ben fejeződött be egy regionális kutatás, amely során a benzotriazolok eloszlását mérték fel a kutatók Közép-Európa különböző folyóinak torkolataiban és az Északi-tengerben. A benzotriazol (BT) és a tollil-triazol (TT) nagy mennyiségben gyártott vegyszerek, amelyeket az iparban és háztartásokban egyaránt használnak. A BT-t fagyálló, korróziógátló folyadékként alkalmazzák. A TT felhasználása hasonló a BT-hoz, de bizonyos szerves oldószerekben jobban oldódik. A repülőgépek jégoldóiban, mosogatószerekben, fékfolyadékokban és hűtőrendszerekben is megtalálhatók. A kutatás során a BT és a TT minden vízmintában kimutatható volt. Az összes benzotriazol (BT+TT) koncentráció 1,7 és

40 ng/l között változott az Északi-tengerben a part menti területeken. A folyókban a koncentráció 200 és 1250 ng/l között volt. A koncentráció csökkenését leginkább a hígulás okozta, mivel ezek a vegyületek nehezen bonthatók, perzisztensek. A számítások szerint Közép-Európa nagyobb folyóiból az Északi-tengerbe évente 78 t BT jut, amelynek 73% (57 t) a Rajnából származik. A másik fő forrás az Elba [6]. A benzotriazolok koncentrációja

az Északi-tengerben más szerves szennyező anyagokhoz képest viszonylag magas. Például perfluorozott felületaktív anyagot (PTF), mint például a perfluor-oktánsav (PFOA) és a perfluoroktán-szulfonát (PFOS) koncentrációja (ld. később) egy nagyságrenddel alacsonyabb [7].

Észak-Rajna-Vesztfália Németország északnyugati részén elhelyezkedő tartomány

1. Az ALPESI RAJNA (Alpenrhein) és mellékfolyói, vagyis a Rajna forrása (Toma-tó) és a Bodeni-tó (Ausztria, Németország és Svájc határán) közötti szakasz. A Bodeni-tó Bodeni-tó, illetve Konstanzi-tó néven is ismert.

2. A MAGAS-RAJNA (Hochrhein), amely a Bodeni-tó kisebb egységétől (Untersee) Bázél felé folyik, ahol egyesül az Aaréval, a Rajna vízhozam szempontjából legfontosabb mellékfolyójával.

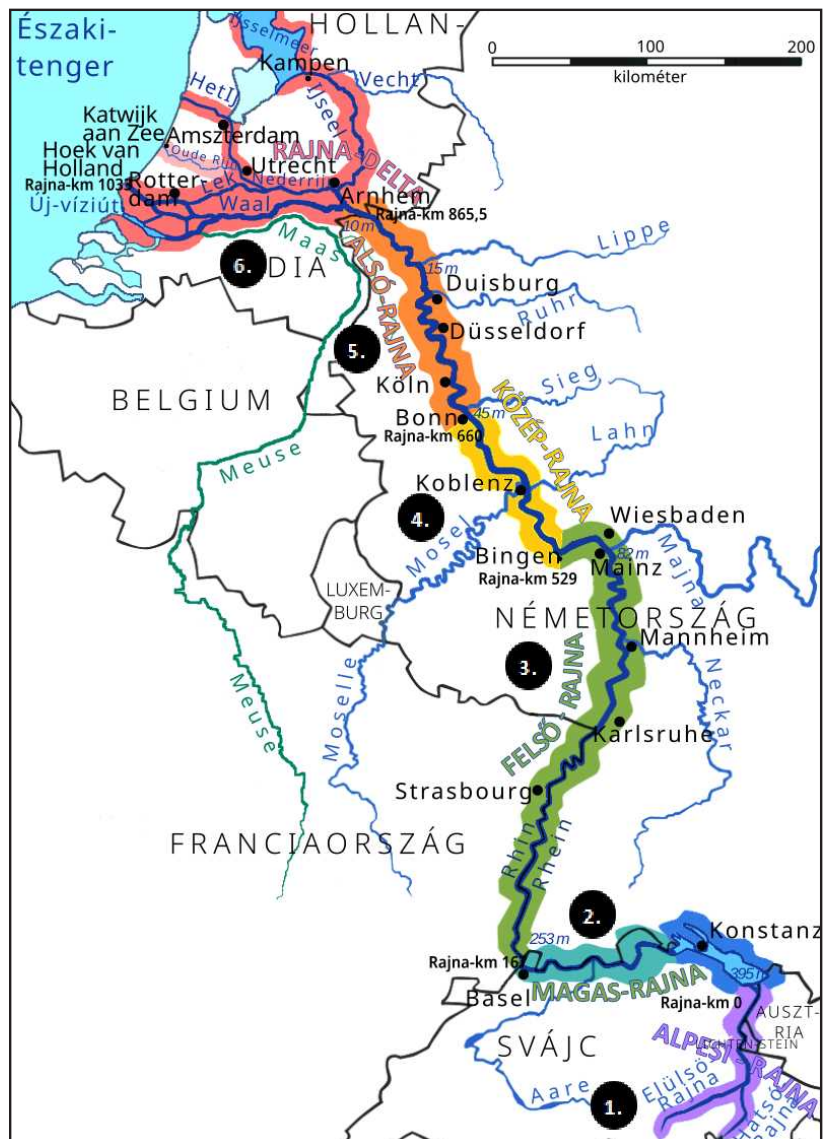
3. A FELSŐ-RAJNA (Oberrhein), amely a Bázeltől Bingenig húzódó Rajna Graben hasadékvölgyén folyik keresztül fő mellékfolyóival, a Neckar és a Majna folyókkal.

4. A KÖZÉP-RAJNA (Mittelrhein), amely a Rajnai-palahegységben mélyen bekarcolt keskeny völgyön folyik át, és felveszi a Mosel folyó (franciául Moselle) vizét Koblenz-nél.

5. Az ALSÓ-RAJNA (Niederrhein), amely Bonntól Lobithig terjed. Fő mellékfolyói a Ruhr, az Emscher és a Lippe.

6. A RAJNA-DELTA, ahol a folyó három nagy ágra oszlik: NederrijneLek, Waal és IJssel.

[5]



**1. ábra** A Rajna folyószakaszai (Eredeti ábra: [https://hu.wikipedia.org/wiki/Rajna#/media/F%C3%A1j:l:Rhein-Karte2\\_hu.svg](https://hu.wikipedia.org/wiki/Rajna#/media/F%C3%A1j:l:Rhein-Karte2_hu.svg))

## BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND 2007



2. ábra Németország tartományai. A Rajna a Boden-tó (Konstanzi-tó) víztestén keresztül éri el Németországot. Ezután a a német–svájci, később pedig a német–francia határon folytatja útját észak felé. A Ruhr-vidéket átszelve a folyó nyugat felé veszi az irányt, és a Holland-síkságon (Hollandiában) deltatorkolaton keresztül ömlik az Északi-tengerbe. (Forrás: <http://nemet-tavoktatas.hupont.hu>)



(fővárosa: Düsseldorf, 2. ábra). Egy rendkívül sűrűn lakott, erősen iparosodott régió. Körülbelül 17,6 milliós lakosságával a legnépesebb német tartomány, bár területét tekintve (34 110 km<sup>2</sup>-es) csak a negyedik legnagyobb. Ebben a tartományban él Németország lakosságának több mint húsz százaléka. Ebben a tartományban található a Ruhr-vidék, a világ egyik legnagyobb ipari területe, illetve Németország legnagyobb összefüggő városrégiója. A szén- és acélipar hanyatlása, illetve az 1960-as évektől kezdődő gazdasági szerkezeti átalakulás után, a Ruhr-vidék még mindig kulcsfontosságú az iparban [8].

A Ruhr-vidék a Ruhr-folyóról kapta a nevét, amely átszeli az egész vidéket. Közel 5 millióan élnek itt nagyjából akkora területen, mint Baranya vármegye. A Ruhr-vidék 4-5 millió embert lát el ivóvízzel, nem csupán magán a Ruhr-vidéken, hanem a szomszédos régiókban is. Ugyanakkor a Ruhr-vidék elnyeli egy erősen iparosodott, több mint 2 millió lakosú régió szennyvizét. A szennyvizet főként a Ruhr-vidék és mellékfolyóinak középső folyásába vezetik. Az ivóvízellátáshoz szükséges vizet azonban elsősorban a Ruhr alsó folyásáról veszik. Tehát szennyvízelvezetés és az ivóvízellátás útjai a Ruhr-vidéken keresztezik egymás [9][10]. Ezen a sűrűn lakott területen több funkciója is van a vízbázisnak, így a vízminőséget ezek együttesen befolyásolják. A régióban ipari és kereskedelmi vállalkozások telepedtek meg, számos területet mezőgazdasági és erdőgazdasági társaságok kezelnek. Emellett az áthaladó vízforgalom is hatásáról sem szabad megfeledkezni [11].

Észak-Rajna-Vesztfália felszíni vizeinek állapota jelentősen javult az elmúlt évtizedekben, főként a foszfor- és nitrogénbevitel problémáját

oldották meg a szennyvíztisztító telepek korszerűsítésével. Napjainkban a vízvédelem és az ivóvízellátás szempontjából inkább a mikro-szennyező anyagok, például a növényvédők szerek, a gyógyszerek és a háztartási vegyszerek jelentenek kihívást. Ezeket a hagyományos szennyvíztisztítási technológia nem képes megfelelő mértékben eltávolítani a szennyvízből. A Ruhr-vidék kialakulása óta a felszín alatti vízkészlet a nagy vízigény miatt nem elegendő, így a Ruhr vizét közvetlenül kell ivóvízbázisként használni [9][10][11].

A vízkezelési eljárások során bizonyos mikro-szennyezők nem választhatók le megfelelő hatékonysággal, így az ivóvízben is megjelennek. 2006 júniusában a Ruhr és a Möhne folyó vizében jelentős mennyiségű perfluorozott felületaktív anyagot (PTF) mutattak ki [9][10]. A PTF az anionos felületaktív anyagok csoportjába tartozik, és tűzoltó habokban, samponokban, padlófényezőekben található [12]. Ezen vegyületek jelenlétének fontos szerepe volt a terület vízműveinek modernizálásában. Az Észak-Rajna-Vesztfália Környezetvédelmi Minisztérium számos egyéb intézkedést hozott a vízgyűjtő terület vizeinek védelmében, amelyek meghozták a hatásukat, így a Möhne és a Ruhr PFT terhelését sikerült csökkenteni. Minimális minőségi célként határozták meg, hogy a PFT összegére vonatkozóan Észak-Rajna-Vesztfália vizeit, nyersvíz- és ivóvízkészletei megfeleljenek a 100 ng/L általános elővigyázatossági értéknek [10].

A per- és polifluorozott alkilvegyületek (PFA) – a PTF ennek egy alkategóriája – szintetikus vegyületek, amelyeket 1940-től gyártanak az USA-ban. Ezek közül legnagyobb mennyiségben a perfluor-oktánsav (PFOA) és a perfluor-oktán szulfonát (PFOS) vegyületeket. Tapadásmentes felületek kialakítására,

például serpenyők bevonatához, ruházat vízlepergető rétegének kialakítására, csomagolóanyagokhoz, vízbázisú filmképző habot használó tűzoltó készülékekben található meg. Rendkívül perzisztensek (lebomlásnak ellenálló) mind a környezetben, mind az emberi szervezetben. Az emberi egészségre káros vegyületek, és 2009-ben felkerültek a Stockholmi Egyezmény perzisztens szerves szennyezők listájára. 2009 óta gyártják a GenX [az ammónium 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxi)-propanát márkaneve] nevű ún. helyettesítő PFA-vegyületet. Azonban ez is perisztens és 2015 óta több országban detektálták felszíni vizekben, bár előzetes vizsgálatok alapján kevésbé tűnik toxikusnak, és kevésbé bioakkumulálódik (halmozódik fel élőszervezetekben) [12]. Az Észak-Rajna-Vesztfália víztesteinél alkalmazott összes PFT határérték a PFOA és a PFOS összesített koncentrációját takarja [9].

Pusztán elővigyázatossági okokból az Észak-Rajna-Vesztfália tartomány 2008-ban elindította a „Tiszta Ruhr” („Reine Ruhr”) Programot, amely intézkedéseket tartalmaz az ipari mikroszennyező kibocsátás csökkentése, a települési szennyvíztisztító telepek korszerűsítése és a megfelelő ivóvízkezelés érdekében. Elsősorban az emberi fogyasztásra szánt víz kivételi pontjainak vízgyűjtő területén található szennyvíztisztító telepeket mérték fel alaposan (133 szennyvíztisztító a 653-ból, 20%). A korszerűsítéseket leginkább ezeknél a szennyvíztisztítóknál érdemes elvégezni. A program célja a szerves mikroszennyezők koncentrációjának minimalizálása a víztestekben. A legfontosabb a szennyező anyagok kibocsátásának elkerülése volt a forrásoknál. Azonban a fennmaradó (forrásnál nem megfogott), a felszíni és felszín alatti víztestekbe bekerülő szennyezést is kezelni kell,

így a vízművek vízkezelő rendszereinek korszerűsítése is nagyon fontos szempont volt. A program során 300 millió eurót fektettek be a régió környezetvédelmi céljainak eléréséhez [9][11].

A Ruhr-vidéken 2017-ben tizenkét vízmű működött fejlett tisztítási technológiával – ezek már megfelelnek a fenntartható és hosszú távon is megbízható vízellátás követelményeinek. Hét, még korszerűsítésre szoruló vízműnél a tisztítási technológia fejlesztését, míg további hét vízmű esetében az üzemeltetés végleges leállítását tervezték, mivel az utóbbiaknál a fejlesztések nem hajthatók végre gazdaságosan. A hét vízmű kiesése hatékonyságnövelő intézkedésekkel és a sznergiehatások kiaknázásával volt pótolható. Ezekkel az intézkedésekkel hosszútávon is biztonságos és megfizethető ivóvízellátást teremthettek meg a Ruhr-vidéken [11].

A program konkrét megvalósítása projekt-csoportokban zajlott, egyetemek, környezetvédelmi egyesületek, vízügyi szövetségek, vízszolgáltató és iparvállalatok, orvosok, kórházak bevonásával. Emellett gyógyszerészek, valamint engedélyező és ellenőrző szervek, szabályozó hatóságok is részt vettek az együttműködésben. Ez a hálózatos megközelítés lehetővé tette a kölcsönös információcserét és a nyilvánosság nagyobb bevonását. Ez a megközelítés tükrözte, hogy a szerves mikroszennyezők számtalan forráson (ipar, kórházak, egyéni fogyasztók) keresztül juthatnak a Ruhr vizébe. A programot egy tudományos bizottság kísérte, amely biztosítja a folyamatos külső értékelést és szakértői tanácsadást. A program lebonyolításáért a Környezetvédelmi Minisztérium felelt. A Bizottság szükség esetén javaslatokat tett a programmal kapcsolatban [10].

Az akcióprogram hét elemből állt, amelyek egy része párhuzamosan zajlott, más része pedig egymásra épült. Ezt a hét lépést követhetjük nyomon a 3. ábrán.

Észak-Rajna-Vesztfáliában 2008-ban összesen mintegy 2,8 milliárd köbméter szennyvizet kezelt 653 települési szennyvíztisztító. Az ezt követő években a szennyvíztisztító

telepek tisztítási teljesítménye folyamatosan javult, és a szennyvíztisztító telepek által okozott vízszennyezés is csökkent. A szerves mikroszennyezők eltávolításához új eljárásokat kellett az üzemeltetőknek bevezetniük. Az nagyüzemi méretben is alkalmazható eljárások akkoriban sem különböztek a ma alkalmazhatóktól, így a nanoszűrés, az ózonos

### 1. A JELENLEGI ÁLLAPOT FELMÉRÉSE

✘ Rendelkezésre álltak korábbi adatsorok az ivóvíz és a nyersvíz mikroszennyező tartalmáról. A Szövetségi Környezetvédelmi Ügynökség (Das Umweltbundesamt, UBA) az adatsoportokat toxikológiai és ivóvíz-higiéniai szempontból is értékelte. Majd ezek alapján az adatbázis frissítése és értékelése zajlott új értékelési szempontok figyelembevételével. Az volt a leglényegesebb kérdés, hogy az ivóvíz szempontjából releváns mikroszennyezők hogyan oszlanak el a Ruhr vízszakaszai között.

✘ Az adatsorelemzések végső soron elvezetettek a forrásokhoz, illetve felmérték az egyes ivóvíztermelő rendszerekkel kapcsolatban, hogy melyik mikroszennyezőkkel és milyen mértékben terheltek.

✘ Ezután modellszámításokat használnak annak ellenőrzésére, hogy hol és milyen mértékben van szükség a szennyvízkezelést érintő intézkedésekre (lásd 5. pont) a Ruhr szerves mikroszennyezőanyag tartalmának hatékony csökkentése érdekében. A cél az ivóvízre szabott elővigyázatossági értékek (célértékek) elérése volt a nyersvízben, illetve minél kisebb koncentrációké.

### 2. ÚJ MONITORING KONCEPCIÓ KIDOLGOZÁSA

✘ Az összes használatban lévő és a víztestekben megjelenő mikroszennyező anyag ellenőrzése nem lehetséges, sem műszakilag, sem gazdasági szempontból. A települési és ipari közvetlen kibocsátók, valamint a csatornahálózatra kapcsolt vállalatok (közvetett kibocsátók) számára új monitoring koncepciót dolgoztak ki, amely segít a releváns szennyezés monitorozásában.

✘ A meglévő víz-, nyersvíz- és ivóvíz-monitoringokat a vizsgálandó anyagok, a mérési gyakoriság és a mérési pontok elhelyezkedése tekintetében a szennyvíz-monitoring programmal összhangba hozták.

### 3. AZ ADATBÁZIS BŐVÍTÉSE

✘ Az „új” szennyezőanyagok, azaz a szerves mikroszennyezők spektruma az adatbázis-építés révén jeleníthető meg. A kommunális és ipari kibocsátások, valamint a szennyvíztisztító telepek meglévő rendszernyilvántartása mellett készül egy közvetett kibocsátási

nyilvántartás, amely a jövőben lehetőséget ad majd az ipari vegyszerek települési szennyvíztisztító telepekre, végső soron a Ruhr-vidékre történő bejutásának felmérésére. A kataszter tartalmazza a cégek profilját és a felhasznált anyagokat.

✘ Továbbá felmerült a kórházak (gyógyszerfogyasztás) és a mezőgazdaság (növényvédelem, szennyvíziszap, szerves hulladék) kataszterbe vétele.

#### **4. MEGELŐZÉS A FORRÁSNÁL**

✘ Különösen a forrásnál tett intézkedések csökkenthetik jelentős mértékben a vízbázisok mikroszennyező terhelését. A szennyezőanyag-kibocsátó iparvállalatokkal folytatott párbeszéd során megvizsgálták, hogy vannak-e a megfelelő vízminőséggel kompatibilis helyettesítő vegyületek, és ezek műszakilag felhasználhatók-e a gyártási folyamatban. Ezenkívül megvizsgálták a szennyvíztechnológiai intézkedéseket is.

✘ A kórházi szennyvizek kezelésére alkalmas módszereket és intézkedéseket tesztelését a Waldbröl Kórházban végezték, amely Európa-szerte figyelmet kapott, így az elkülönített szennyvízkezelést is vizsgálták.

#### **5. TOVÁBBI SZENNYVÍZKEZELÉSI ELJÁRÁSOK BEVEZETÉSE A SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEKEN**

✘ A szennyvízkezelésre vonatkozó intézkedések lehetőséget adnak a mikroszennyező anyagok koncentrációjának csökkentésére, különösen ott, ahol az intézkedések a forrásnál nem, vagy csak nehezen hajthatók végre. A kiválasztott szennyvíztisztító telepeket korszerűsítették, illetve üzemi léptékben tesztelték a negyedik tisztítási fokozatként alkalmazható technológiai eljárásokat (pl. ózonos kezelés, UV-kezelés, aktívszén, membránszűrés).

#### **6. TOVÁBBI IVÓVÍZKEZELÉSI INTÉZKEDÉSEK**

✘ Meghatározták a Ruhr-vidék ivóvízkezelésének szerves mikroszennyezőkre vonatkozó minimumszabályát.

#### **7. TÁJÉKOZTATÁS ÉS TANÁCSADÁS**

✘ A Környezetvédelmi Minisztérium régóta tájékoztatást nyújtott a lakosság számára a gyógyszerek helyes kezeléséről, megsemmisítéséről. Ezt a tevékenységet egészítették ki, így például az orvosokkal és kórházakkal párbeszédet folytattak a röntgenkontrasztanyagokkal kapcsolatos víz- és ivóvízproblémákról. A cégek tájékoztatást kaphattak egyes termékek használatáról és lehetséges alternatíváiról is. A fogyasztókat tájékoztatták az úgynevezett „Personal Health Care” (személyes egészségügyi) termékek helyes ártalmatlanításáról. Ez egy nagyon szélesen értelmezett termék kategória, amelybe beletartozik minden, amit mosásnál, mosdóhasználat utáni takarításnál és öltözködésnél használunk. Tehát tisztító- és fertőtlenítőszer, illatosító spray, különböző törülközők stb.

3. ábra A „Tiszta Ruhr” („Reine Ruhr”) Program [10]

kezelés (UV-kezeléssel kombinálva), valamint az aktívszenes szűrés szerepeltek a palettán. Ezeket az eljárásokat Németországban nem, vagy alig tesztelték korábban üzemi méretekben a kommunális szennyvíztisztítás területén [9]. 3. ábra A „Tiszta Ruhr” („Reine Ruhr”) Program [10]

Az Észak-Rajna-Vesztfália tartomány Klíma-védelmi, Környezetvédelmi, Mezőgazdasági, Természetvédelmi és Fogyasztóvédelmi Minisztériuma (Das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz, MKULNV) több tudományos tanulmányt rendelt meg e folyamatok nagyszabású alkalmazási lehetőségeinek és a kapcsolódó költségeknek a vizsgálatára. Kiderül, hogy a részletesebben vizsgált eljárások gazdaságos alkalmazása alapvetően lehetséges, de különösen két eljárás ad okot bizakodásra: az ózonos kezelés és a flokkulációs szűrőrendszerek átalakítása aktív szenes szűrésre. Számos szennyvíztisztító telepen már 2010/2011-ben üzembe helyezték az új, vagy mikroszennyezők eltávolítására átalakított technológiai egységet [9].

Észak-Rajna-Vesztfália stratégiája az volt, hogy olyan eljárást válasszon a mikroszennyező anyagok kezelésére, amely figyelembe veszi a helyi körülményeket (szennyezőanyagterhelés, meglévő technológia, szabad hely stb.). Ehhez minden érintett szennyvíztisztítómű esetében megvalósíthatósági tanulmányt készítettek, amely reális költség-haszon elemzést tartalmazott, részletesen bemutatta a megvalósítható eljárások összehasonlítását, valamint azt, hogy a folyamatok különböző kombinációi hogyan integrálhatók a szennyvízkezelésbe [13].

Az 1. táblázatban gyűjtöttük össze Észak-Rajna-Vesztfália tartomány azon

szennyvíztisztítóit, amelyek a Reine Ruhr Program alapján szerves mikroszennyezők eltávolítására külön technológiai egységet üzemeltetnek 2012-ben.

Az észak-rajnai szennyvíztisztító telepek 2018-ra megkezdték a mikroszennyező anyagok sikeres csökkentését [13].

Mint korábban említettük (3. ábra 3. pont 2. bekezdés) a kórházi szennyvizek kezelésére alkalmas módszerek és intézkedések tesztelését a Waldbröl Kórházban végezték. Ez a vizsgálatsorozat is a „Reine Ruhr” Program részét képezte. A gyógyszerhatóanyagok vízi környezetbe való bejutásának csökkentése érdekében fontos lehet a pontszerű forrásokból, például kórházakból származó szennyvízen keresztüli bejutás elkerülése. A jelenlegi ismeretek szerint a kórházak nem tekinthetők a szennyvízbe kerülő gyógyszerhatóanyagok fő forrásának. Egyedi esetekben azonban mindenképpen érdemes lehet a gyógyszer-maradványokat közvetlenül a kórházi szennyvízből eltávolítani [14][15].

A Waldbröl körzeti kórház az Oberberg körületben található, közepes méretű, mintegy 340 ágyas kórház. Itt épült fel Európa első nagyméretű létesítménye a kórházi szennyvíz elkülönített gyűjtésére és mechanikai-biológiai előtisztítására. A kutatás fókuszában különböző technológiai eljárások vizsgálata állt az előkezelt kórházi szennyvízből a gyógyszer-maradványok további eltávolítására. Félüzemi méretekben a nanoszűrés, a fordított ozmózis, az aktívszenes szűrés és az ózonos kezelés folyamatait hasonlították össze eliminációs teljesítmény és gazdaságosság szempontjából [14][15].

A kórházi szennyvizek membrán bioreaktorban (MBR) végzett mechanikai-biológiai előtisztítása számos vizsgált gyógyszer

1. táblázat Észak-Rajna-Vesztfália tartomány azon szennyvíztisztítói, amelyek a Reine Ruhr Program alapján a szerves mikroszennyezők eltávolítására külön technológiai egységet üzemeltetnek (2012-es állapot) [9] (PAC = porított aktív szén; MBR = membrán bioreaktor)

Szennyvíztisztító	Üzemeltető	Eljárás	LE	Állapot	Státusz
<u>Buchenhofen</u>	<u>Wupperverband</u>	aktív szén	760.000	kísérleti fázis	aktív
<u>Düren-Merken</u>	<u>Wasserverband Eifel-Rur</u>	aktív szén	461.500	kísérleti fázis	aktív
<u>Aachen-Soers</u>	<u>Wasserverband Eifel-Rur</u>	membránrendszer	458.000	kísérleti fázis	aktív
<u>Obere Lutter</u>	<u>Abwasserverband Obere Lutter</u>	aktív szén	380.000	kísérleti fázis	aktív
<u>Moers-Gerdt</u>	<u>LINEG</u>	membránrendszer/ PAC	250.000	kísérleti fázis	aktív
<u>Lage ZKW</u>	<u>Städtischer Abwasserbetrieb Lage</u>	aktív szén	155.000	tervezési fázis	nem aktív
<u>Essen-Süd</u>	<u>Ruhrverband</u>	ózonos kezelés	135.000	tervezési fázis	nem aktív
<u>Detmold</u>	<u>Stadt Detmold</u>	aktív szén	115.000	tervezési fázis	nem aktív
<u>Kaarst-Nordkanal</u>	<u>Erftverband</u>	MBR / PAC	80.000	kísérleti fázis (PAC)	aktív
<u>Bad Oeynhausen</u>	<u>Stadt Bad Oeynhausen</u>	aktív szén	78.500	tervezési fázis	nem aktív
<u>Schwerte</u>	<u>Ruhrverband</u>	ózonos kezelés/ aktív szén	50.000	nagyüzemi kísérlet	aktív
<u>Ochtrup</u>	<u>Stadt Ochtrup</u>	ózonos kezelés/ aktív szén	49.000	üzemképes	aktív
<u>Eitorf</u>	<u>Stadt Eitorf</u>	membránrendszer	46.500	részáram kezelés	aktív
<u>Rietberg</u>	<u>Stadt Rietberg</u>	aktív szén	39.000	tervezési fázis	nem aktív
<u>Duisburg Vierlinden</u>	<u>Stadt Duisburg</u>	ózonos kezelés/ aktív szén	34.000	nagyüzemi kísérlet	aktív
<u>Büchel (Ruppicherroth-)</u>	<u>Aggerverband</u>	MBR	25.000	kísérleti fázis	aktív
<u>Hünxe</u>	<u>Lippeverband</u>	MBR	15.000	részáram kezelés	aktív
<u>Simmerath</u>	<u>Wasserverband Eifel-Rur</u>	MBR	14.000	kísérleti fázis	aktív
<u>Bad Sassendorf</u>	<u>Lippeverband</u>	ózonos kezelés	13.000	nagyüzemi kísérlet	aktív
<u>Seelscheid</u>	<u>Aggerverband</u>	MBR / PAC	11.000	kísérleti fázis (PAC)	aktív
<u>Konzen</u>	<u>Wasserverband Eifel-Rur</u>	MBR / UV	9.700	üzemképes	aktív
<u>Bergheim-Glessen</u>	<u>Erftverband</u>	MBR	9.000	üzemképes	aktív
<u>Monschau</u>	<u>Wasserverband Eifel-Rur</u>	UV-kezelés	7.000	üzemképes	aktív
<u>Woffelsbach</u>	<u>Wasserverband Eifel-Rur</u>	MBR	6.200	üzemképes	aktív

<b>Monschau-Kalterherberg</b>	Wasserverband Eifel-Rur	UV-kezelés	5.000	üzemképes	aktív
<b>Xanten-Vynen</b>	LINEG	membránrendszer/ MBR	5.000	kísérleti fázis	aktív
<b>Rödingen</b>	Erftverband	MBR	3.000	üzemképes	aktív
<b>Einruhr</b>	Wasserverband Eifel-Rur	UV-kezelés	2.800	üzemképes	aktív
<b>Hösel-Dickelsbach</b>	BRW	membránrendszer	2.800	tervezési fázis	nem aktív

koncentrációját és a vizsgált ökotoxikológiai hatásokat is jelentősen csökkentette. Mindazonáltal nem minden gyógyszert sikerült eliminálni MBR kezeléssel, illetve ökotoxikológiai és mutagén hatásokat is kimutattak. A további kezelési folyamatok félüzemi méretekben történő vizsgálata azt mutatta, hogy a nanoszűrés kivételével minden eljárás alapvetően alkalmas a gyógyszeripari mikro-szennyezők széleskörű eltávolítására, azonban költséghatékonyságát tekintve az MBR eljárást követő (downstream) ózonos kezelés (fajlagos ózondózis 1,02 mg ózon/mg DOC; érintkezési idő 15 perc) kombinált eljárás javasolt. A röntgenkontrasztanyagok eltávolítása csak gazdaságossági szempontból aránytalanul nagy erőfeszítéssel érhető el bármelyik vizsgált eljárás alkalmazásával. Ezért a röntgenkontrasztanyagok szennyvízbe és a környezetbe jutását elsősorban további intézkedésekkel kell minimalizálni, lehetőleg a röntgenkontrasztanyagok kezelésekor (használat és ártalmatlanítás protokoll megváltoztatása) [14][15].

A kutatási projekt keretében bebizonyosodott, hogy a teljes vízgyűjtőterületen belül az antibiotikumok jelentős része (> 30%) a körzeti kórház pontforrásából származott. Amennyiben ezeket – a kommunális szennyvíztisztító telepeken csak gyengén vagy közepesen eliminálható anyagokat – a kórházi

szennyvízből sikerül hatékonyan eltávolítani (> 99%), akkor a vízi környezet antibiotikum terhelése kb. 30%-kal csökkenthető. Hasonló mennyiségű röntgenkontrasztanyag is érkezik a kerületi kórházból a szennyvíztisztító telepre, azonban ezeket csak kis mértékben képes visszatartani a technológia. Más gyógyszerek esetében a kórház pontforrásként csak csekély szerepet játszik. Az eredmények más vízgyűjtőterületekre vonatkoztatáshoz a 30 LE/kórházi ágy hányados alkalmazható. A teljes rendszer fajlagos beruházási költsége körülbelül 4800 euró/kórházi ágy volt. A kórházi szennyvíz elkülönített tisztításának költsége az MBR és az ózonos kezelés fent említett kombinációjával körülbelül 5,30 €/m<sup>3</sup> volt 2009-ben [14][15].

A „Reine Ruhr” Program sikere után, 2018 óta folyamatban van a „Sichere Ruhr” (Biztonságos Ruhr) elnevezésű második projekt is. A cél, hogy a Ruhr folyót tisztábbá és biztonságosabbá tegyék a mikrobiális vízminőség szempontjából. A vízügyi társaságok és intézmények közösen dolgoznak egyrészt a kórokozók terhelésének csökkentésén, másrészt egy olyan előrejelző rendszer kidolgozásán, amely korai figyelmeztetést ad a mikrobiológiai határértékek túllépésénél. Ezzel a biztonságos fürdés/úszás körülményeit teremti meg [13].

Ugyan nem a Reine Ruhr Program részeként működött, mégis érdemes megemlíteni a kölni AdOx projektet („AdOx Köln» project), amely értékes tapasztalatot jelent mikroszennyezők eltávolítása terén. A Stadtentwässerungsbetriebe Köln, röviden StEB, összesen öt szennyvíztisztító telepet üzemeltet Köln térségében, köztük Köln háztartási és ipari szennyvizének mintegy 84%-át kezelő Großlärwerk Köln- Stammheim szennyvíztisztító telepet. Ez a Rajna legnagyobb szennyvíztisztító telepe Észak-Rajna-Vesztfáliában. Mintegy 800 000 lakos szennyvizét tisztítja, ezen kívül a kereskedelmi és ipari vállalatok szennyvizét is, amelyek kibocsátása körülbelül 500 000 LE terhelésnek felel meg [16].

A kölni AdOx projekt keretein belül 2017 óta sikeresen alkalmazzák a granulált aktív szén (GAC) és az ózonos oxidáció kombinációját, amelyet az RWTH Aacheni Egyetem Városi Vízgazdálkodási Intézete által készített korábbi megvalósíthatósági tanulmány alapján választottak ki. A második fázis zárójelentése alapján a GAC + ózon kombinációja működhet a legjobban, a külön-külön üzemeltetett egységekhez képest, mivel bizonyos szennyezőket az egyik, más szennyezőket a másik technológiai egység távolít el hatékonyabban. A mikroszennyezők jobb eliminációja mellett feltételezhető, hogy a GAC élettartama az upstream ózonozással meghosszabbodik, és ez gazdasági előnyökkel is jár. Kombinált rendszerben valószínűleg elegendő lenne az ózon alacsony fajlagos dózisa is, így az oxidációs melléktermékek képződésének kockázata korlátozott lenne. A folyamatkombináció az optimális technológiai megoldást jelentheti a kölni szennyvíztisztító telepek mikroszennyezőinek eltávolítására [17][18].

## NÉMETORSZÁG: BADEN-WÜRTTEMBERG

A Németország kertjének is nevezett Baden-Württemberg tartomány mind területe, mind a lakosság nagysága szerint harmadik a tartományok között. A Rajna felső folyása mentén fekszik, délről Svájc, nyugatról pedig Elzász Franciaországhoz tartozó része határolja [19]. A Baden-Württembergi Tartományi Környezetvédelmi Intézet (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, LUBW) felmérte a tartomány folyóvizeinek mikroszennyező tartalmát, és egy jegyzékben rögzítette az aktuális állapotot 2014-ben. Egy megelőzési stratégia részeként a 2010-es évek végén elkezdtek a különösen érzékeny víztestek, illetve a szennyezett területek közelében található szennyvíztisztító telepek negyedleges tisztítási fokozattal történő bővítését a mikroszennyező anyagok eltávolítása érdekében. A gyógyszerfogyasztás drámaian megnövekedett az elmúlt években, ezért kiemelten fontosnak tartják a mikroszennyező anyagok kibocsátásának korlátozását és a különböző vízformákban megjelenő mikroszennyezők eltávolítását. Erre épül kétpilléres stratégiájuk is: a forráshoz és a felhasználóhoz kapcsolódó intézkedések kombinálva a szennyvíztisztító telepek bővítésének támogatásával és finanszírozásával [20].

### Első pillér: MEGELŐZÉS

Becslések szerint a víztestekben található gyógyszermaradványok 10-20 %-át teszi ki a megmaradt, illetve fel nem használt gyógyszerek helytelen kezelésével (a WC-n leöblített) a csatornahálózatba kerülő mennyiség. Nem a legnagyobb hányad, de könnyen megelőzhető ez a terhelés, ha felhívják az emberek figyelmét a helytelen ártalmatlanítás következményeire.

A cél a forrásokhoz kapcsolódó és decentralizált intézkedések előremozdítása, amelyek



csökkentik a mikroszennyező anyagok környezeti terhelését. Ily módon a nagy mennyiségű röntgenkontrasztanyagot felhasználó kórházak és klinikák szennyvize külön gyűjthető és kezelhető lehet.

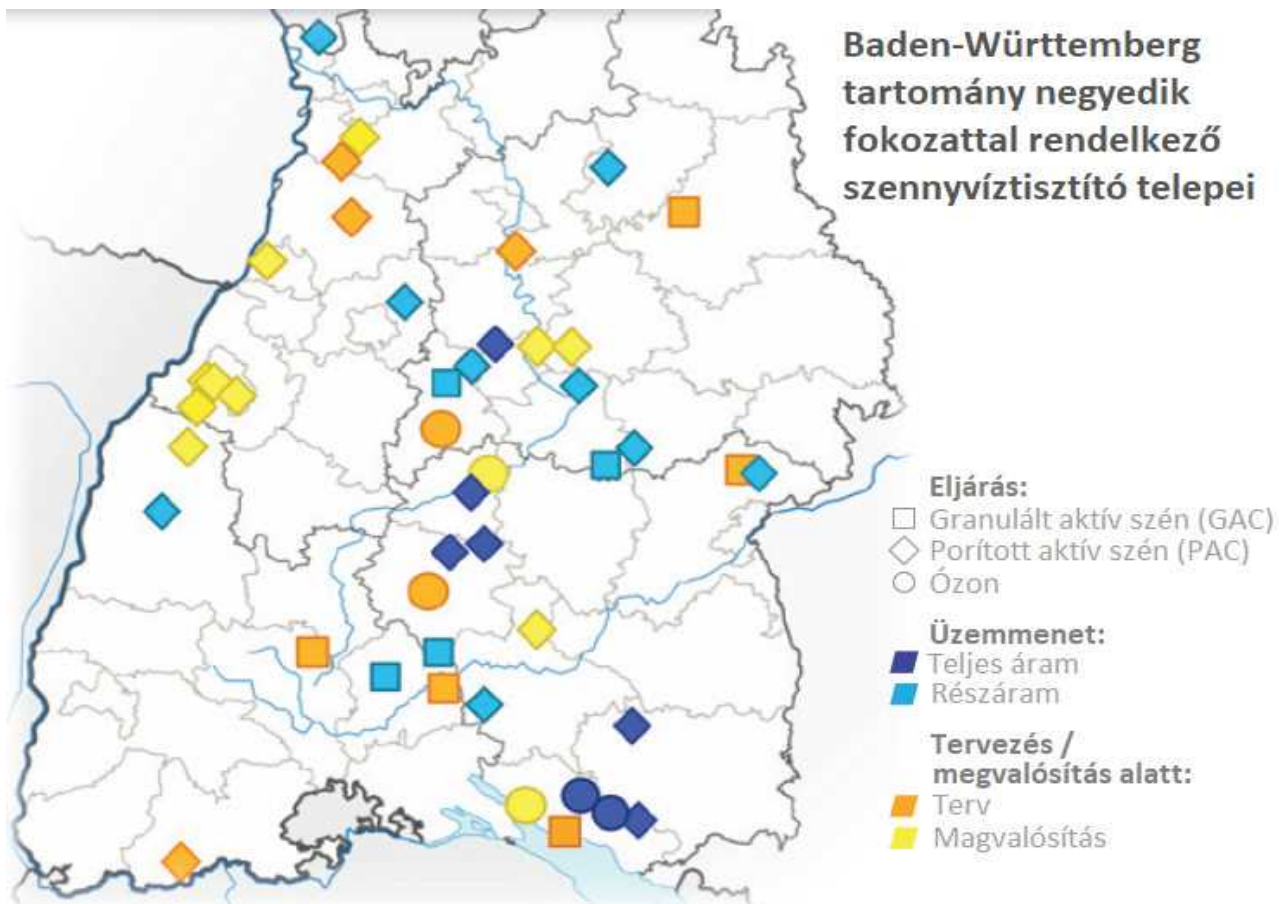
### Második pillér: SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEK KORSZERŰSÍTÉSE

Az érzékeny vízökológiájú, esetleg különösen magas szennyvíz eredetű terheléssel érintett víztesteknél, illetve olyan régiókban, ahol ivóvizet nyernek, Baden-Württemberg megkezdte a szennyvíztisztító telepek kiegészítését negyedik tisztítási fokozattal. Baden-Württemberg tartomány negyedik fokozattal rendelkező szennyvíztisztító telepei a 4. ábrán láthatók.

Az összes német szövetségi tartomány közül Baden-Württemberg a technológiai fejlődés élvonalába tartozik a szennyvíztisztítás területén. A mikroszennyező anyagok célzott eltávolításának tudományos alapjait a Steinhäule szennyvíztisztító telepen (Zweckverband Klärwerk Steinhäule, Ulm/Neu-Ulm) dolgozták ki 2003-ban egy porított aktív szén (PAC) eljárás alapuló félüzemi rendszer fejlesztésével. A nagyüzemi változata a kifejlesztett technológiának 2010-ben kezdte meg működését Mannheimben. Az előbbi a Duna, utóbbi a Rajna mentén, a Neckar torkolatháromszögénél fekszik. Ma már más technológiákat is széles körben alkalmaznak: granulált aktív szén (GAC), ózon [20].

Észak-Rajna-Vesztfáliával szemben itt nem a tartomány illetékes környezetvédelmi minisztériuma tölt be közvetlen vezető szerepet a mikroszennyezők eltávolításával kapcsolatos fejlesztések koordinálásában, de pénzügyi támogatásokkal erős háttérrel szolgál. A Baden-Württembergi Környezetvédelmi Minisztérium finanszíroz egy különleges

együttműködést KomS (Kompetenzzentrum Spurenstoffe = Mikroszennyezők Kompetenciaközpontja) néven, amelyet három független partner szövetsége alkot. A Stuttgarti Egyetem és a Biberach Egyetem nyújtja a tudományos kompetenciáját és műszaki ismereteit a folyamattechnológia továbbfejlesztésébe, valamint a mért eredmények dokumentálásába. A Baden-Württembergi DWA Regionális Szövetség (DWA-BW) – amely a víz-, szennyvíz- és hulladékkezelés szakértőinek egy politikailag és gazdaságilag független hálózata – az ismeretterjesztés, a speciális rendezvények, kirándulások, valamint a továbbképzések széles spektrumát vállalja a régióban. A KomS 2012 óta támogatja a tervezőket, az üzemeltetőket és a hatóságokat a mikroszennyezők eltávolítására szolgáló új technológia bevezetésében, és részt vesz a módszerek továbbfejlesztésében is. A támogatás kiterjed a negyedik fokozat megépítésére és beüzemelésére is, amíg azok el nem érik a megbízható, stabil működést. Az egyik fontos felelősségi terület az új technológiával szerzett eredmények és tapasztalatok összevonása és elemzése, és elérhetővé tétele más felhasználók számára. Így a Kompetencia Központ a tudástranszfer platformjaként is szolgál a technológia tudományos felügyelete és továbbfejlesztése érdekében. A KomS elsősorban kapcsolattartóként funkcionál a szennyvíztisztító telepek üzemeltetői és szakértői, valamint a mérnöki tanácsadók és a szennyvíztisztító telepek műszaki bővítésével megbízott cégek között. A Kompetencia Központ szabványt dolgozott ki a negyedik fokozatok megfelelő méretezésére és az eltávolítási hatékonyság tesztelésére. Ezeket az alapelveket a „Handlungsempfehlungen für die Vergleichskontrolle und den Betrieb von Verfahrenstechniken zur gezielten



4. ábra Baden-Württemberg tartomány negyedik fokozattal rendelkező szennyvíztisztító telepei [20].

Spurenstoffelimination” (csak német nyelven érhető el) című dokumentumban foglalták össze [20][21][22].

Időközben a német szövetségi kormány is aktívvá vált a mikroszennyező anyagok kezelésének témakörében. A 2016 és 2019 között Németország-szerte folytatott szakmai-politikai párbeszéd eredményeként megfogalmaztak egy 14 pontos ajánlást a német szövetségi kormány által követett mikroszennyező-stratégiára vonatkozóan. Ez volt a projekt első szakasza, amelyet a második szakaszban az ajánlások pontosítása követett egy ütemterv kidolgozásával. Ebben kulcsfontosságú elem az „Keretirányelv a szennyvíztisztító telepek bővítéséhez” (Orientative framework

for the extension of wastewater treatment plants).

A tartományban 2021 elején 21 települési szennyvíztisztító telep üzemeltetett mikroszennyezők eltávolítását szolgáló technológiai egységet, amely lehetővé tette akár 2,7 millió LE szennyvízmennyiség negyedleges kezelését. További 23 szennyvíztisztító telep esetében a negyedik fokozat építése vagy tervezése folyamatban volt [20].

Elsősorban azok a szennyvíztisztítóművek építettek ki negyedik tisztítási fokozatot, amelyek a tisztított szennyvizüket a Bodeni-tóba és torkolataiba vezetik, esetleg felszínalatti vízbázist érinthet az elszivárgás, illetve kedvezőtlen talajviszonyok (például karsztos terület) esetén átmenetileg vagy egész évben

a talajba szivárog a befogadó víztest. Szintén veszélyeztetett az a víztest, amelynél alacsony vízállás esetén a teljes vízhozam 50%-át a tisztított szennyvíz adja. A kisméretű üzemeket általában költséghatékonysági okokból kizárták. A jövőben tervezik a nagyméretű (>500 000 LE) szennyvíztisztítók bevonását a projektbe. Ennek előszeleként 2019 őszén megkezdődött a stuttgarti fő szennyvíztisztító telep (STP Stuttgart-Mühlhausen) bővítése, amely immár tartalmaz egy technológiai egységet (PAC) a mikroszennyező anyagok eltávolítására, de a teljes építési fázis befejezését 2028-ra tervezik [20][23][24].

Jelenleg Baden-Württembergben a leggyakrabban alkalmazott eljárás a mikroszennyező anyagok eltávolítására a PAC alkalmazása. Az ózon rendkívül reaktív vegyületként különösen alkalmas a nemkívánatos anyagok eltávolítására, így jelenleg is folynak kutatások különféle kombinált eljárásokkal kapcsolatban (ózon + GAC, membránszűrés + PAC). Az ózonos kezelés önállóan is megjelenik néhány szennyvíztisztító esetében. Eddig ez a két eljárás bizonyult hatékonynak a mikroszennyezők eltávolítására. Üzemeltetői szempontból pozitív mellékhatás, hogy a PAC tovább csökkenti a szennyvíz kémiai oxigénigényben (KOI) kifejezett szervesanyag-tartalmát. A PAC-val dolgozó szennyvíztisztító telepek átlagosan 30 %-kal képesek csökkenteni a KOI értéket. Az ózonos kezelés másik pozitív hatása a csíraszám csökkenése (fertőtlenítés) [20].

Az aktív szén alkalmazásánál többféle lehetőség kínálkozik a szennyvíztisztítási technológiába történő integrálásra és a szén fajlagos felületének leoptimalisabb felhasználására. Ezenkívül az aktív szén többféle formában is felhasználható: porként többféle eljárásváltozatban és granulátumként a legtöbb esetben fix ágyas

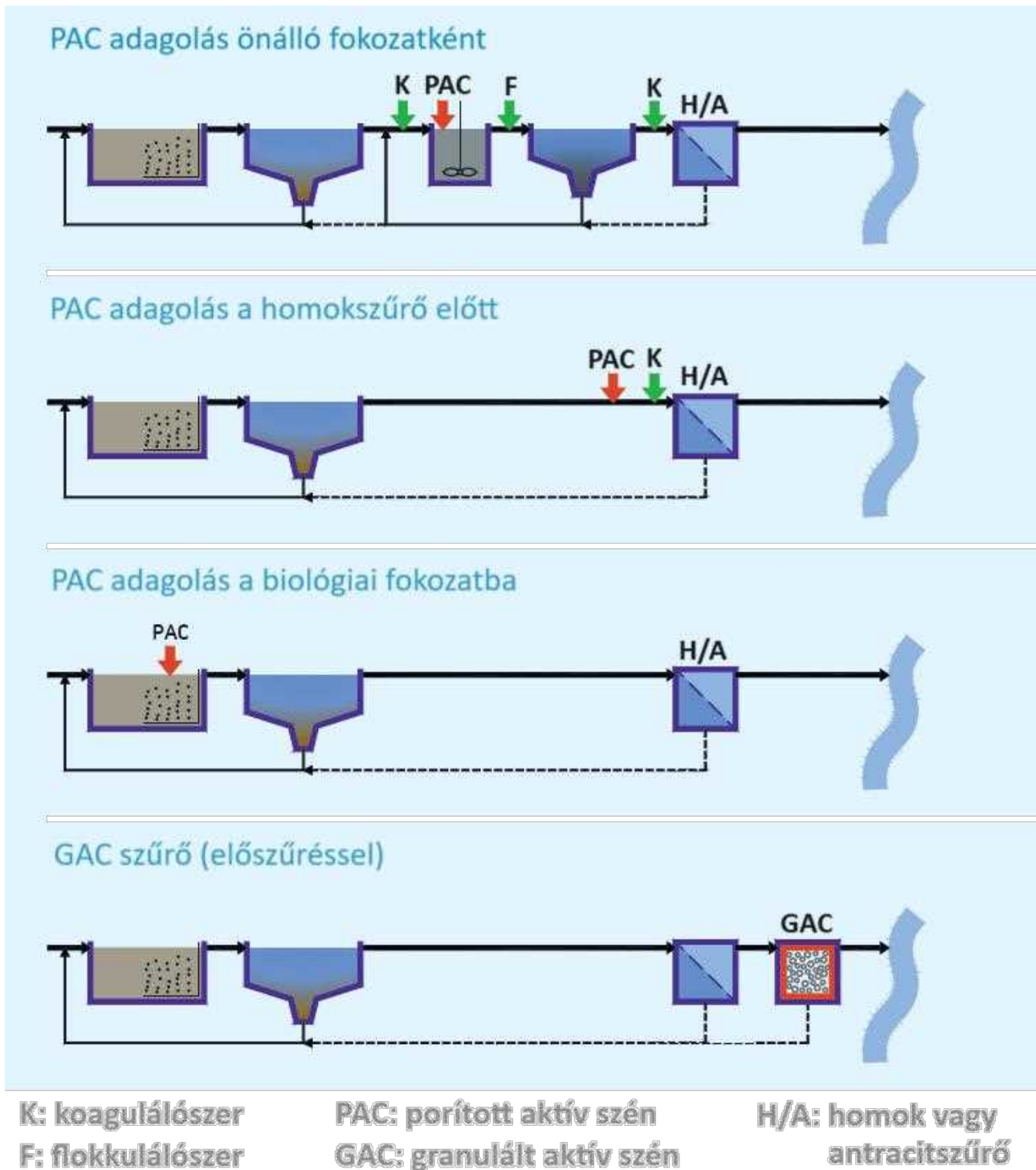
szűrőben. A PAC szemcsemérete általában 10 és 50  $\mu\text{m}$  között van. A porított szenet közvetlenül a szennyvízáramba öntik a technológia valamelyik pontján. Minél hosszabb ideig érintkezik a PAC a kezelendő vízzel, annál nagyobb mennyiségű mikroszennyező anyagot képes adszorbeálni (megkötni). Általában nem áll rendelkezésre megfelelő tartózkodási idő a PAC teljes „feltöltődéséhez”, vagyis az adszorpciós egyensúly eléréséhez. A szennyvíztől és a műszaki feltételektől függően több lehetőség is rendelkezésre áll a folyamatok optimalizálására, amely főként a PAC adagolási helyének szakszerű megválasztásán alapul. Fontos azonban figyelembe venni, hogy a PAC a kis részecskemérete miatt nem ülepedik ki az utóülepítőben, ezért egy utószűrőt (homok- vagy antracitszűrő) kell alkalmazni annak megakadályozására, hogy a mikroszennyezőket tartalmazó szénpor az elfolyó vízbe kerüljön. A következő PAC adagolási lehetőségek vannak:

Az egyik lehetőség egy külön adszorpciós fokozat telepítése. Ez tartalmaz egy kontaktreaktort, ahol a PAC-ot adagolják, és egy ülepitő tartályt, ahol azt ismét elválasztják a szennyvíztől koagulálószerrel (kicsapószerrel) segítségével.

Alternatív megoldásként a PAC adagolható még azelőtt, hogy a szennyvíz belépne a homokszűrőbe. Ebben az esetben a homokszűrő szabadoldala az aktív szén kontaktreaktoraként is szolgál. A PAC-ot az alsó szűrőágyban választják le.

A harmadik lehetőség az aktív szén közvetlen adagolása a levegőztető medencébe (biológiai fokozat), amely ebben az esetben kontaktkamraként is szolgál. A PAC bekerül az eleveniszapba, és a fölősiszappal együtt eltávolítják a technológiai egységből [20].

Az eljárásváltozatok az 5. ábrán követhetők.



5. ábra Az aktív szenes eljárások változatai [20].

A GAC alkalmazás fix ágyas formában történik, mivel a 0,5 és 4 milliméter közötti részecskeméretével sokkal durvább aktív szén forma, mint a PAC. Ebben az esetben a szennyvíz egy GAC-ágyon keresztül folyik

át, amely során a mikroszennyező anyagok adszorbeálódnak a szemcséken. Ezenkívül ezekben a szűrőkben biológiai lebontási folyamat is végbemegy. Mivel a GAC a rögzített ágyban marad, nincs szükség további elválasztási fázisra. A GAC csak korlátozott adszorpciós kapacitással rendelkezik, így ha ez a kapacitás kimerül, a szemcsés töltetet el kell távolítani a szűrőből, majd regenerálás után visszahelyezhető a szűrőbe. A GAC szűrő, amely mindig a biológiai tisztítási fázis után található, kétféleképpen valósítható meg: Egyrészt a meglévő homokszűrő GAC fixágyas szűrővé alakítható, azaz a szűrőanyag GAC-re cserélhető.

Másrészt a GAC-szűrő egy előszűrés után is elhelyezhető, amely ilyen formában a szénszűrőt tehermentesíti.

Maga a szűrő többféleképpen is kialakítható: nyitott szűrőként, amelyen keresztül a szennyvíz fentről lefelé halad, vagy fordítva, felfelé áramoltatott nyomottszűrőként, esetleg paralel szűrőrendszerként, ahol a szűrés folyamatot párhuzamosan öblíthető egy másik egység [20].

Az ózon alkalmazása bizonyos helyzetekben sokkal előnyösebb lehet, mint az aktív szénes eljárásoké. Ezt támasztja alá a Baden-tónál üzemelő Eriskirch Szennyvíztisztító Telep (Kläranlage Eriskirch, Bodensee) esete, ahol a 500 000 LE szennyvizet tisztító telep gyakorlatilag egy ivóvíztározó tóba vezeti az elfolyóvizét. A baktériumok és vírusok számának maximális visszaszorítása érdekében döntöttek a rendkívül hatékony oxidációs technológia mellett. Természetesen a döntés szempontjából mindig lényeges a szennyvíz bromidkoncentrációjának előzetes felmérése, mivel ózon hatására káros vegyület (bromát) képződhet ( $\text{Br} + \text{O}_3 \rightarrow \text{BrO}_3^-$ ). Nagy bromidkoncentráció esetén célszerű más

technológiát választani a mikroszennyező anyagok eltávolítására. Szintén fontos érv volt az ózontechnológia alkalmazása mellett, hogy homokszűrő már rendelkezésre állt. A homokszűrő kivonja az ózonos kezelés során képződő káros termékeket a vízből, ezzel tovább csökkenti a környezeti kockázatot. 15 hónapos kivitelezési időszak után, 2020 januárjában kezdte meg működését az eriskirchi szennyvíztisztító telep negyedik fokozata [20]. Tehát az eriskirchi szennyvíztisztító telep példája jól mutatja, miért érdemes alaposan mérlegelni az egyes technológiák előnyeit és hátrányait egy negyedik fokozat tervezésekor. A költségeket több tényező is befolyásolta, de főleg a kezelt szennyvíz mennyiségének különbségei (leginkább a beruházási költségeknél) játszottak jelentős szerepet a különbségek kialakulásában. A nagyobb üzemek személyi és karbantartási költségek tekintetében előnyben voltak. A meglévő rendszerelemek (pl. homokszűrők) csökkentették a beruházási költségeket. A szennyvíz összetétele befolyásolta az alkalmazott PAC (6-11 g szén/m<sup>3</sup>) vagy ózon mennyiségét, így a különösen nagy mennyiségű ipari szennyvíz megnövelte a költségeket [20]. A negyedik fokozatot üzemeltető szennyvíztisztítók költségeit a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A projekt a díjfizetők számára 8,6 és 20,6 euro cent/m<sup>3</sup> többletköltséggel járt. Ez lakosegyenértékenként 2,90 és 7,80 euró közötti összeget jelentett, ami a teljes éves díj körülbelül négy-tíz százalékának felelt meg. Ezekkel a költségekkel minden érintett üzem elérte a megfigyelt mikroszennyezők átlagos eliminációs teljesítményét, amely messze meghaladta az előírt 80%-ot.

A Baden-Württembergi Környezetvédelmi Minisztérium a megvalósíthatósági tanulmányok és hasonló előtanulmányok költségeinek

**2. táblázat** A negyedik fokozatot üzemeltető szennyvíztisztítók költségei, amely magában foglalja mind a személyi költségeket, mind az üzemeltetésnél felhasznált anyagok (pl. aktív szén, flokkulálószer), az áramellátás, az ártalmatlanítás, a szennyvízelemzés és a karbantartás költségeit [20].

Szennyvíztisztítómű	Lakosegyenérték (LE)	Ár (euro cent/m <sup>3</sup> )
<b>Ulm (Steinhäule), Mannheim, Böblingen-Sindelfingen, Lahr</b>	220.000, 725.000, 250.000, 100.000	4,9 - 20,6
<b>Stockacher Aach, Kressbronn-Langanargen</b>	34 000, 24.000	5,7 - 13,5

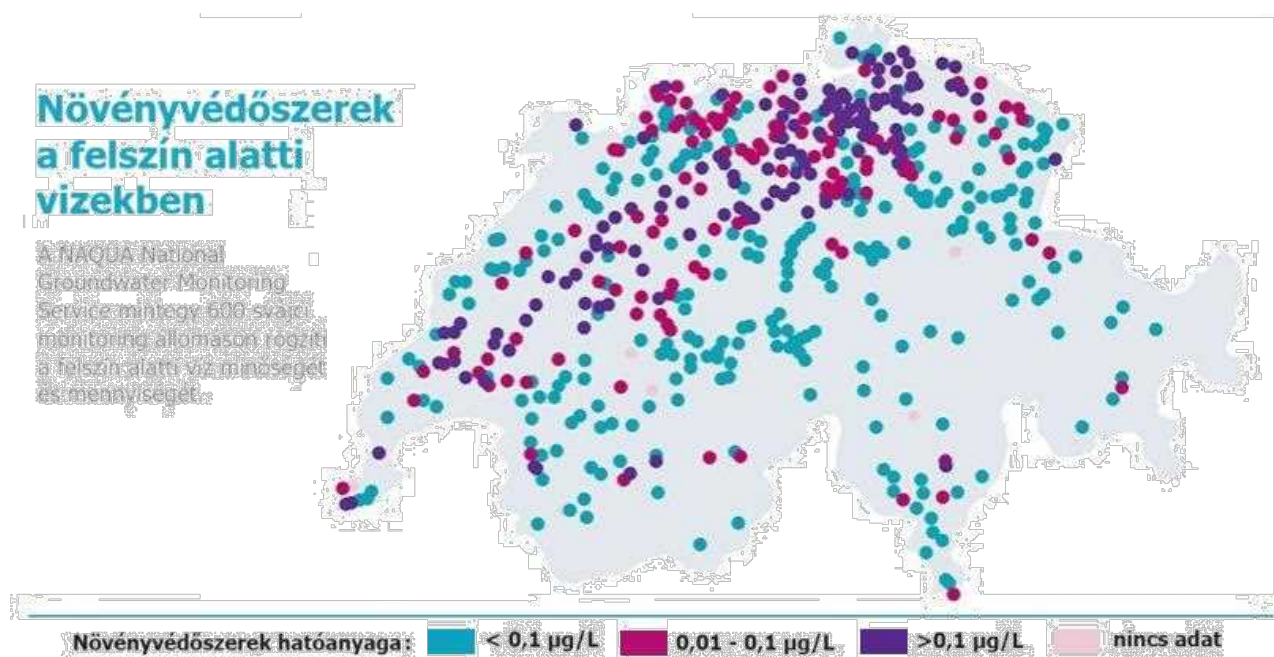
50%-át finanszírozta. Minden érintett szennyvíztisztító prémiumban és alkalmazandó vízdíjtól függően támogatásban részesült [20].

## SVÁJC

Svájcban az ivóvíz 80%-a felszín alatti vízből származik, amelynek körülbelül a fele forrásvíz, tavakból és folyókból az ivóvíz 20%-át emelik ki. Ugyan Svájc nagyon nagy felszín alatti vízkészletekkel rendelkezik, ez a vízbázis egyre inkább szennyezett. A NAQUA National Groundwater Monitoring Service – a szövetségi kormány és a kantonok közös monitoring-programja – mintegy 600 svájci monitoring állomáson rögzíti a felszín alatti víz minőségét és mennyiségét. Egy 2019-es tanulmány kimutatta, hogy a nitrátok és a peszticidek maradványai rontják leginkább a felszín alatti víz minőségét. Különösen érintettek az intenzív gazdálkodást folytató és sűrűn lakott középhegység felszínalatti vízkészletei (6. ábra). A hagyományos szennyvízkezelés során a mikroszennyezők jelentős része változatlan formában halad át technológiai egységeken, így természetes befogadórendszerekben jelennek meg ezek a vegyületek. A felszín alatti vízkészlet csak nagyon lassan regenerálódik, így olyan szennyezőanyagok is megtalálhatók benne, amelyek használatát sok évvel ezelőtt betiltották [25].

A felszíni vizek esetében hasonló a helyzet. Az Országos Felszíni Víztisztítási Program (National Surface Water Quality Monitoring Programme, NAWA) keretein belül a TREND elnevezésű, folyamatos monitoring program részeként 38 megfigyelőhelyen, nem kevesebb, mint 72 mikroszennyező anyagot vizsgálnak. A NAWA TREND tanulmányai azt mutatják, hogy a svájci fennsíkon és völgysíkságokon számos vízfolyás mikroszennyező anyagokkal szennyezett. 2022-ben a 22 mikroszennyező anyag közül (19 peszticid és 3 gyógyszer), amelyekre a Víztisztítási Rendelet (Gewässerschutzverordnung, GSchV) ökotoxikológiai határértékeket állapított meg, 18 esetben mutatkozott meg az említett határértékek túllépése. 2022-ben a 38 vizsgált vízfolyásból mindössze 6 felel meg az ökotoxikológiai határértékeknek [26].

2006-ban a FOEN (Svájci Szövetségi Környezetvédelmi Hivatal) elindította a „MicroPoll Strategy” projektet a szennyvíz mikroszennyezőinek eltávolítását szolgáló technológiák felmérésére. A 2016-ban elkészült új vízügyi szabályozásnak megfelelően Svájcban 2040-ig 750-ből 120-130 szennyvíztisztító esetén építik ki a mikroszennyezők eltávolítási fokozatát. A beruházás teljes költsége mintegy 1,2 milliárd CHF, amelynek 75%-a állami finanszírozású, és a 25%-át, valamint



**6. ábra** Svájc felszín alatti vizeinek szennyezettsége növényvédőszerekkel [25].

az üzemeltetési költséget az önkormányzatok fedezik. Elsődleges cél az érzékeny víztestek és az ivóvízbázisok megóvása a mikroszennyezőktől. 2014 márciusában elkészült az első nagyüzem, amely Dübendorfban található, és ózont használ a szennyvíz negyedleges tisztításához. 2020 elején összesen tíz üzemet szereltek fel negyed fokozattal, további 29 pedig tervezési szakaszban vagy építés alatt állt. Kilenc svájci frankos illetéket vetettek ki a szennyvíztisztító telepek további bővítésének finanszírozására – és ezt az illetéket minden svájci állampolgárnak meg kell fizetnie, akinek a szennyvizét tisztítják.

A fejlesztésre kerülő szennyvíztisztítók kiválasztásánál elsődleges szempontként szerepelt az érzékeny víztestek védelme. Olyan telepeket választanak, amelyek 8000 lakosegyenérték feletti, amelyek esetén a hígulás mértéke a befogadóba vezetésnél alacsony (<10-szeres). A másik szempont

az ivóvízbázisok védelme. Ezek 24.000 LE feletti szennyvíztisztítók esetében kiemelten kezelték, melyeknek tisztított vize állóvízbe kerül bevezetésre, illetve a speciális hidrogeológiai státuszú 8000 LE feletti is. A harmadik szempont a terhelés csökkentése, amelynek a 80.000 lakosegyenérték feletti szennyvíztisztítóknál van kiemelt jelentősége. Ezek a nagy szennyvíztisztító telepek az összes szennyvíz több mint 10%-át kezelik. Az ózozás mellett az aktív szén technológia két formája (PAC, GAC) szerepel alternatívaként (3. táblázat) [22][27][28].

A technológiai megvalósítás spektruma a németországi mintának megfelelően alakult, így például találunk a PAC adagolás minden formájára, illetve a GAC adagolás még mozgóágyas formával is kiegészül (3. táblázat). Svájcban a membránszűrés és az MBR rendszert nem jelenik meg negyed fokozatként,

**3. táblázat** *Technologies in Switzerland [28] (DOC = Dissolved Organic Matter = oldott szerves anyag tartalom)*

Eljárás	Szennyvíztisztító telep
<b>ÓZÓN + HOMOKSZŰRÉS</b> (0,4 – 0,6 g O <sub>3</sub> /g DOC; HRT min 13 perc)	<b>Neugut, Oberwynental, Bassersdorf, Werdhölzli (üzemelt), Kloten Opfikon, Morgenthal, Porrentruy, Neuenburg (kivitelezés alatt), Neuenburg, Furthof/Buchs, Aadorf, Birsig, Seeland Süd/Murten-Kerzers (tervezés alatt)</b>
<b>PAC ÜLEPÍTÉSSEL (HOMOK- / RONGYSZŰRÉSSEL)</b> (1,5 g PAC/g DOC)	<b>Herisau, Thunersee (üzemelt), Flawil-Oberglatt (kivitelezés alatt), Fehraltorf (tervezés alatt)</b>
<b>PAC A HOMOKSZŰRŐBE ADAGOLVA</b> (1,5 g PAC/g DOC)	<b>Schönau-Cham (üzemelt), La Chaux-de-Fonds, Lachen Untermarch, Egg-Oetwil am See, Ergolz 1, Bioggio, Gossau Grüningen (tervezés alatt)</b>
<b>PAC A BIOLÓGIAI FOKOZATBA ADAGOLVA (HOMOK- / RONGYSZŰRÉSSEL)</b> (2-3 g PAC/g DOC)	<b>Wetzikon (üzemelt), Zimmerberg</b>
<b>MOZGÓÁGYAS (MOVING BED) GAC</b> (Ø 0,5 - 0,8 mm; 2 g GAC/g DOC 2 naponta; 100 nap tartózkodási idő)	<b>Penthaz (üzemelt), Delémont, Niederglatt, Luzern, Niederglatt (tervezés alatt)</b>
<b>GAC-szűrő (fix ágyas GAC)</b>	<b>Muri, Moos (tervezés alatt)</b>
<b>ÓZON + AKTÍV SZÉN</b> (0,15 - 0,3 g O <sub>3</sub> /g DOC; GAC 1,8 m és 20 perc)	<b>Altenrhein (üzemelt 2019 óta), ProRheno, Glarnerland (tervezés alatt O<sub>3</sub> + PAC)</b>

míg Észak-Rajna-Vesztfáliában elterjedt megoldásnak minősül.

A svájci törvény egy tucat molekula (4. táblázat), főként a gyógyszermaradványok 80%-os csökkentését tűzi ki célul. Ezt a szabályozási formát az alkalmazott vegyületekkel együtt átvette a 91/271/EGK irányelv 2024. áprilisában elfogadott – elvileg végleges – formája. A kiválasztott 12 vegyület reprezentálja a szerves mikroszennyező anyagok széles körét. Nem nagy kockázatú molekulákat vizsgálnak, hanem kantoni vagy magánlaboratóriumokban könnyen és rutinszerűen mérhetőket. Csak az anyavegyületek (transzformációs termékek nélkül) koncentrációját határozzák

meg. Az összes tesztelt vegyület mérhető koncentrációban fordul elő a nagyobb szennyvíztelepeken. Ez azt jelenti, hogy a befolyóvízben az alsó kimutatási határ (Limit of Quantitation, LOQ) 10-szeresét eléri az adott vegyület koncentrációja. A biológiai kezelés során a koncentrációjuk a kiindulási érték 50%-a alá csökken. Hasonló csökkentés tapasztalható negyedleges tisztítással is (nem specifikálva ózonra vagy aktív szénre). Ezek a vegyületek folyamatosan jelen vannak a szennyvíztisztítók nyers szennyvizében. A fenti kritériumoknak főleg különböző gyógyszervegyületek feleltek meg [28].



4. táblázat Svájcban vizsgálatra kötelezett hatóanyagfajták [29].

	Hatóanyagok	Hatóanyagtípusa
<b>1. Kategória</b> <b>Nagyon könnyen</b> <b>adszorbeálható</b> <b>/oxidálható anyagok</b>	amisulprid	Gyógyszerhatóanyag
	karbamazepin	Gyógyszerhatóanyag
	citalopram	Gyógyszerhatóanyag
	klaritromicin	Gyógyszerhatóanyag
	diklofenák	Gyógyszerhatóanyag
	hidroklorotiazid	Gyógyszerhatóanyag
	metoprolol	Gyógyszerhatóanyag
	venlafaxin	Gyógyszerhatóanyag
<b>2. Kategória</b> <b>Könnyen</b> <b>adszorbeálható/oxidálható</b> <b>anyagok</b>	benzotriazol	korróziógátló
	kandezartán	Gyógyszerhatóanyag
	irbezartán	Gyógyszerhatóanyag
	4-metil-benzotriazol (= tolil- triazol, TT) és 5-metil-benzotriazol	fagyálló, korróziógátló

A gyógyszerek között antibiotikum (klaritromicin), fájdalomcsillapító (diklofenák), vérnyomás-csökkentők (hidroklorotiazid, metoprolol, kandezartán, irbezartán), antidepresszánsok (karbamazepin, citalopram, venlafaxin) és pszichés zavarok kezelésére alkalmazott (amisulprid) vegyület szerepel a listán. Ezen kívül korróziógátlók (benzotriazolok) is bekerültek a tesztvegyületek közé.

A fejlesztések – a német tartományokhoz hasonlóan – csak széles társadalmi-szakmai együttműködési rendszerben valósulhattak meg. Svájcban tudományos intézményként elsősorban a Svájci Szövetségi Víz tudományi és Technológiai Intézet (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, EAWAG) képezte az együttműködési hálózat stabil pontját.

A németekhez hasonlóan sok fontos tapasztalatot gyűjtöttek össze a fejlesztések végrehajtása és az üzemeltetés során. Az aktív szén eljárások robusztus (jól viseli az egyes hibákat a rendszer) és hatékony technológiának bizonyultak az mikroszennyezők eltávolításához. Általában az ózonos kezelésnél nagyobb oldott szerves anyag (DOC) eltávolítást eredményeztek. Ózonos kezelésnél akár 20%-kal is csökkenhet (DOC) koncentrációja, és akár 30%-kal a kémiai oxigénigényt (KOI). Természetesen az aktív szén technológia flokkulálószer alkalmazását (4-15 mg FeCl<sub>3</sub>/L vagy 0,1-0,4 g Fe/g PAC) is igényli, ahogyan ezt már a német fejlesztések kapcsán említettük. A PAC megtartásához valamilyen szűrőre (homok, rongy) van szükség, és a regenerálása nem lehetséges, így el kell égetni.

A GAC adagolása PAC-hoz hasonló aktív szén dózissal működőképes, de nincs szükség adalékanyagokra. Egyszerűen működő rendszer alakítható ki, akár a meglévő homokszűrők átalakításával. A GAC regenerálható, így kisebb CO<sub>2</sub>-kibocsátást eredményez ez a rendszer a PAC-hoz viszonyítva. Kevésbé tesztelt, mint a PAC, így sem a méretezési paraméterek, sem a költséghatékonyság nem egyértelmű. Esőzések idején csökken a GAC-rendszer hatékonysága [28].

Az ózonos kezelés működése stabil, robusztus és biztonságos, ráadásul a személyi költségek alacsonyak. A biológiai kezelés minősége közvetlen hatással van az ózonozás eliminációs teljesítményére és az erőforrások felhasználására. Az ózonrendszert kellő tartalékkal kell megtervezni, hogy rugalmasan tudjon reagálni a különböző igényekre. Általában 0,4 - 0,6 g O<sub>3</sub>/g DOC (Werdhölzli – Zürich, Neugut - Dübendorf) koncentrációban alkalmazzák, és a minimális tartózkodási idő (HRT) 13 perc. Biológiailag aktív utókezelést (pl. homokszűrő, GAC) igényel [28].

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az utóbbi években zajlott 'A települési szennyvíz kezeléséről szóló' 91/271/EGK irányelv módosítása, amely talán legköltségesebb igénye a negyedik tisztítási fokozat kötelező megvalósítása a 150 000 LE feletti terhelésű szennyvíztisztító telepeken. A tisztított szennyvizet érzékeny befogadóba bocsátó, 10000 – 150000 LE terhelésintervallumba eső tisztítóműveket is kötelezik a negyedleges tisztításra.

Az érintett szennyvíztisztító telepek számára kevés nemzetközi tapasztalat áll rendelkezésre, amely mintaként szolgálhat számukra és a megvalósítást segítheti. Németország és

Svájc épített fel tartományi, illetve nemzeti programot a mikroszennyezők mennyiségének csökkentésére, amelynek talán a legfontosabb pillérét jelenti a szennyvíztisztítási technológiák fejlesztése, a szennyvízkezelő rendszerek kiegészítése negyedleges tisztítással.

Németország két tartománya, Észak-Rajna-Vesztfália és Baden-Württemberg, valamint Svájc élvonalnak számítanak, hiszen a kiépített és üzemelő negyedik fokozatok száma ezekben a régiókban jelentős. Mindhárom esetben jelentős társadalmi összefogás és hálózatépítés előzte meg a programok végrehajtását. Az illetékes (valamilyen környezetvédelmi) minisztériumok mellett szakmai szövetségek, egyetemek, szakértői csoportok, kutatóintézetek fogtak össze a cél érdekében, és ez a hálózat segítette a szennyvíztisztító telepeket a negyedleges tisztítási technológia megválasztásában, üzembe helyezésében és optimalizálásában. Minden esetben szükség volt az állam, illetve valamely minisztériuma jelentős támogatására.

A tartományi, nemzeti programok indításának oka mindig az ivóvízbázist is érintő mikroszennyező terhelés volt, amely hosszútávon az emberi egészséget veszélyeztetheti, bár jelenleg a legtöbb szerves mikroszennyezővel kapcsolatban hiányosak az ismereteink. A negyedik fokozat telepítésére kiválasztott szennyvíztisztítók minden esetben valamely érzékeny víztestet használtak befogadóként. Olyan víztesteket, amelyek beszivároghatnak a felszíni vizekbe, a befogadó vízhozamának jelentős részét adja a tisztított szennyvizük, ivóvízkivételre használt vízgyűjtőterületen működnek. Általában a nagy méret is arra predesztinálja a szennyvíztisztító telepeket,

hogy minél hamarabb negyedik fokozattal egészüljön ki a technológiai sorok.

A számításba vehető technológiák közül a tisztítási hatások, a beruházási és az üzemeltetési költségek, valamint az energiaigény figyelembevételével, az oxidáció ózonnal és az adszorpció aktív szénen (PAC, GAC) tekinthető nagyüzemi méretekben is megvalósítható megoldásnak, illetve a különböző membrántechnológiák, membrán bioreaktorok (MBR) is megfelelő választást jelenthetnek. Németországban az aktív szén technológiákon kívül a különféle membrán eljárások

is elterjedtek, beleértve az MBR rendszereket is. Ezek kombinációit is tesztelték. Ezzel szemben Svájcban a membrántechnológiák helyett inkább az ózonos kezelést alkalmazták az aktív szén eljárások mellett, illetve azokkal kombinálva.

Ezek a technológiák alapvetően mind nagyon hatékonyak, és alkalmasak a feladatuk betöltésére. Az optimális technológia kiválasztása azonban mindig előtanulmány készítését igényli, mert csak a helyi körülményeknek leginkább megfelelő eljárás lehet hatékony.

#### ▶ REFERENCIÁK



# A SZENNYVÍZZEL A FELSZÍNI VIZEKBE KERÜLŐ GYÓGYSZERMARADVÁNYOK KÖRNYEZETTOXIKOLÓGIAI ÉRTÉKELÉSE

Nagy-Mezei Csenge<sup>1,2</sup>, Bezsényi Anikó<sup>1,3</sup>, Gyarmati Imre<sup>1</sup>, Kardos Levente<sup>2</sup>

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

2 Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, Agrárkörnyezettani Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

3 Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, 1034 Budapest, Bécsi út 96/b

## Kulcsszavak

Környezettoxikológia; élővíz; szennyvíz; gyógyszermaradványok; exkréció; fotodegradáció; dózis; perzisztencia, akkumuláció; 91/271/EGK irányelv

## KIVONAT

A szerves mikroszennyezők nagyfokú perzisztenciájára az élővizekben számos gyógyszerhatóanyag jelen van. A gyógyszermaradványok növekvő környezeti koncentrációja összefüggésbe hozható a humán- és állatgyógyászati célra szánt gyógyszerkészítmények nagymértékű fogyasztásával, melyek sok esetben az adott hatóanyag effektív dózisának többszöröséttartalmazzák. Az utóbbi években számos tanulmány született, valamint nemzetközi intézkedések, projektek indultak annak érdekében, hogy a mikroszennyezőkről megfelelő mennyiségű információ álljon rendelkezésre, mely támogatja a jövőbeli környezetvédelmi döntéseket, technológiai fejlesztéseket. A gyógyszerhatóanyagok számos útvonalon kerülhetnek az élővizekbe, ez által a felszín alatti vizekbe és az ivóvízbázisokba is, továbbá akkumulálódhatnak a növényekben, állatokban, így bekerülve a táplálékláncba. A mikroszennyezők felmérésének egyik fontos lépése a Duna és vízgyűjtő területének kémiai, biológiai, ökológiai felmérése. A Közös Duna Felmérés (Joint Danube Survey) átfogó vizsgálatok végzett a Duna vízgyűjtő területén, négy

ütemben: 2001-ben, 2007-ben, 2013-ban és 2019-ben. A 2019. évi vizsgálatok kimutatták, hogy a Dunában és a mellékfolyóiban vett mintákban legnagyobb mértékben a szteroidok és metabolitjaik járultak hozzá a felszíni vizek gyógyszerhatóanyag szennyezettségéhez. A felszíni folyóvízmintákban kimutatott gyógyszervegyületek közül öt haladta meg a PNEC-édesvíz értékeket: a dikloxacillin, a diklofenák, a karbamazepin, a 17- $\beta$ -ösztradiol és a kandezartán. A szennyvízmintákban a legtöbb kimutatott vegyület az antibiotikumok csoportjába tartozott. A kimutatott gyógyszervegyületek száma szignifikánsan nagyobb volt a befolyó nyers szennyvízmintákban az elfolyó tisztított szennyvízmintákéhoz képest, a vegyületek összesített kumulatív koncentrációja 1,28 és 1,06  $\mu\text{g/L}$  volt a befolyó és az elfolyó szennyvízáramban.

## 1. BEVEZETÉS

Már az 1990-es években megkezdődtek a gyógyszermaradványok előfordulásával, viselkedésével, sorsával foglalkozó kutatások: egyre több olyan tanulmány látott napvilágot,

amely a felszíni és felszín alatti vizekben, az ivóvízben, valamint a kommunális és ipari eredetű szennyvizekben kimutatható gyógyszerhatóanyagokkal és azok környezeti és egészségügyi hatásaival foglalkozik. Nem csoda, hiszen ezek a kutatások hamar rávilágítottak arra, hogy a modern ivóvíztisztítási technológiákkal kezelt, emberi fogyasztásra szánt víz is tartalmazhat ng/L koncentrációban mikroszennyezőket, pl. gyógyszermaradványokat, ezen felül az élővizekben is kimutathatók ng/L, µg/L vagy akár mg/L koncentrációban is egyes gyógyszerkészítmények. A szerves mikroszennyezőknagyfokú perzisztenciája, a környezetben való akkumulálódásuk révén az élővizekben számos gyógyszerhatóanyag jelen van (Jones és mtsai 2005; Záray 2018).

A gyógyszerhatóanyagok környezeti koncentrációjának növekedése összefüggésbe hozható a túlzott gyógyszerfogyasztással, ebbe a humán- és állatgyógyászati célra szánt készítmények alkalmazását is beleértjük. A gyógyszerkészítmények az adott hatóanyag effektív dózisának akár többszörösét is tartalmazhatják, esetenként a gyógyszerhatóanyag tartalmának akár 90%-a kiválasztásra kerül (exkréció) az emberi szervezetben. A xenobiotikumok exkréciója a szervezetből (akár metaboliként, akár változatlan formában) számos kiürülési útvonalon valósulhat meg. Legnagyobb arányban a veséken keresztül választja ki a szervezet a nem kívánatos vegyületeket, melyek távoznak a vizelettel, majd a kommunális szennyvízzel a szennyvíztisztító telepekre jutnak. A szervezetbe bejutó, exkréció útján eltávolított vegyületek arányát az exkréciós ráta adja meg. A gyógyszerhatóanyagok csoportján belül az antibiotikumok kifejezetten nagy exkréciós rátáj jellemző

(pl. az amoxicillin exkréciós rátája 80 – 90% (Hirsch és mtsai 1999), illetve  $\geq 70\%$  (Jjemba 2006), a tetracikliné 80 – 90% (Hirsch és mtsai 1999), illetve  $\geq 70\%$  (Kühne és mtsai 2000), mindkét hatóanyag elterjedten alkalmazott, szélesspektrumú antibiotikum), ami az antibiotikum rezisztencia fokozódó jelenléte és káros hatásai miatt is aggodalomra ad okot. Az antibiotikum rezisztencia egy természetes jelenség, akkor alakul ki, amikor egy baktérium ellenállóvá válik egy olyan antimikrobiális szerrel szemben, melynek hatására korábban elpusztult volna. Az antibiotikumok túlzott fogyasztásával (humán egészségügyi, állatgyógyászati célból egyaránt) egyre több, az antibiotikumokkal szemben ellenálló baktérium törzs jelenik meg, ennek hatására a bakteriális fertőzések elleni küzdelem a jövőben számos kihívással fog szembenézni.

Jelenleg a szennyvíztisztítótelepeknek csak kis hányada rendelkezik a mikroszennyező anyagok eltávolítását megcélzó tisztítási fokozattal (negyedik tisztítási fokozat), ezért sok esetben a gyógyszerhatóanyagok a szennyvíztelepek tisztított szennyvizével távoznak a felszíni vizekbe, onnan a felszín alatti, valamint az ivóvízkészletbe.

## 2. A GYÓGYSZERHATÓANYAGOK MEGFIGYELÉSÉVEL, MONITOROZÁSÁVAL ÉS VIZSGÁLATÁVAL KAPCSOLATOS EDDIGI INTÉZKEDÉSEK

### 2.1. Veszélyes kemikáliák megfigyelési listája (WatchList)

Az Európai Unió vízpolitikáját a 2000/60/EK irányelv (Víz Keretirányelv, VKI) határozza meg, melynek célja, hogy keretet adjon a szárazföldi felszíni vizek, az átmeneti vizek, a partmenti

<b>Antibiotikumok</b>	
<b>Amoxicillin</b>	<b>Antibiotikum</b>
<b>Ciprofloxacín</b>	<b>Antibiotikum</b>
<b>Azitromicin</b>	<b>Makrolid antibiotikumok</b>
<b>Eritromicin</b>	<b>Makrolid antibiotikumok</b>
<b>Klaritromicin</b>	<b>Makrolid antibiotikumok</b>
<b>Antidepresszánsok</b>	
<b>Desmethylvenlafaxine</b>	<b>Antidepresszáns</b>
<b>Hormonok</b>	
<b>17<math>\alpha</math>-etinil-ösztadiol (EE2)</b>	<b>Szintetikus ösztrogén</b>
<b>17<math>\beta</math>-ösztadiol (E2, ösztadiol)</b>	<b>Ösztrogének</b>
<b>Ösztron (E1)</b>	<b>Ösztrogének</b>
<b>Fájdalomcsillapítók</b>	
<b>Diklofenák</b>	<b>Nem-szteroid gyulladáscsökkentő</b>

1. ábra: A Watch List-en korábban szereplő gyógyszerhatóanyagok (Watch List és Watch List 2) (Link 1)

tengervizek és a felszín alatti vizek védelmének, valamint folyók és tavak „jó kémiai és ökológiai állapotú” minősítésének elérése. (2000/60/EK Irányelv). Az Európai Parlament és Tanács 2455/2001/EU sz. határozatában rögzítette az elsőbbségi anyagok jegyzékét, melyben harminchárom perzisztens, bioakumulatív, illetve toxikus vegyületet, vegyületcsoportot neveztek meg. A VKI 2013. augusztusi módosítása során határozat született egy megfigyelési lista létrehozásáról, majd ezt követően az Európai Bizottság 2015-ben adta ki az első megfigyelési listát (Watch List), amelyre három gyógyszerhatóanyag került fel (diklofenák, 17- $\beta$ -ösztadiol és 17- $\alpha$ -etinil-ösztadiol). A listán szereplő vegyületeket

a tagországok vízügyi hatóságainak rendszeresen monitorozniuk kell a felszíni vizekben (Záray 2018).

A Watch List-et rendszeresen felülvizsgálják, kockázatelemzést és értékelést követően szakbizottság dönt arról, hogy mely kémikáliákat tartalmazza a lista frissített verziója. A listát először 2018-ban, majd 2020-ban dolgozták át, ennek következtében a Watch List első változatában szereplő hormonok és a diklofenák jelenleg nem tartozik a megfigyelt gyógyszerhatóanyagok közé. Ezen felül néhány, 2018-ban listára kerülő antibiotikum sem található már meg a jelenleg megfigyelt gyógyszervegyületek között (1. ábra).

<b>Antibiotikumok</b>	
<b>Szulfametoxazol</b>	<b>Antibiotikum</b>
<b>Trimetoprim</b>	<b>Antibiotikum</b>
<b>Flukonazol</b>	<b>Fungicid gyógyszer</b>
<b>Klotrimazol</b>	<b>Fungicid gyógyszer</b>
<b>Mikonazol</b>	<b>Fungicid gyógyszer</b>
<b>Antidepresszánsok</b>	
<b>Venlafaxin</b>	<b>Antidepresszáns</b>

**2. ábra:** A Watch List-en jelenleg szereplő gyógyszerhatóanyagok (Watch List 3) (Link 2)

A Watch List 2020-ban frissített verzióján összesen 6 gyógyszerhatóanyag szerepel, melyek közül egy antidepresszáns (venlafaxin), öt pedig antibiotikum (szulfametoxazol, trimetoprim, flukonazol, klotrimazol, mikonazol)(2. ábra).

## 2.2. A települési szennyvíz kezeléséről szóló 91/271/EGK irányelv és módosítása

Az 1991. május 21-én kiadott direktíva a települési szennyvíz összegyűjtésével, kezelésével, kibocsátásával, valamint egyes ipari szektorok szennyvizének kezelésével és kibocsátásával kapcsolatban fogalmaz meg előírásokat, követelményeket. Az irányelv célja a környezet megóvása a fent említett szennyvízkibocsátások káros hatásaitól (91/271/EGK irányelv). Az utóbbi években a rendelet átfogóátdolgozására került sor, melynek következtében az energiasemlegesség elérésével, a tisztított szennyvíz kibocsátási paramétereinek szigorításával, valamint a mikroszennyező anyagok eltávolításával kapcsolatos új követelmények jelentek meg. A direktíva kiterjed a szennyvíztisztítás harmadik fokozatának fejlesztésére is, mely kiemelten fontos feladat az élővizek

nitrogén- és foszfor-terhelésének csökkentésében, az érzékeny vízbázisok megóvásában. A gyógyszerhatóanyagok szennyvíztisztító telepeken történő eltávolításával kapcsolatban az adott telepet terhelő szennyvízmennyiség függvényében technológiai követelményeket fogalmaz meg az irányelv, valamint egyes gyógyszerhatóanyagok (pl. diklofenák, karbamazepin, klaritromicin, metoprolol), peszticidek (4-metil-benzotriazol és 5-metil-benzotriazol) és egy korrózióvédőanyag (benzotriazol) (3. ábra) (Korponai 2023; 91/271/EGK irányelv) esetében konkrét előírások is belekerültek a direktívába. Az 1. és 2. kategóriába csoportosított vegyületek a svájci mikroszennyező anyagok eltávolítását célzó szennyvízkezelési gyakorlat alapján kerültek be a 91/271/EGK direktíva módosításába. Az 1. kategóriában a negyedik tisztítási fokozattal nagyon könnyen adszorbeálható, oxidálható vegyületek, míg a 2. kategóriában a könnyen adszorbeálható, oxidálható vegyületek találhatók. A legutóbbi módosítás szerint a két kategóriában feltüntetett vegyületek közül legalább hat koncentrációját szükséges monitorozni, valamint eltávolítási határfokot számítani száraz idei hozamra (szükséges

	Hatóanyagok	Hatóanyag típusa
<b>1. Kategória</b>  <b>Nagyon könnyen adszorbeálható /oxidálható anyagok</b>	<b>Amisulprid</b> <b>Karbamazepin</b> <b>Citalopram</b> <b>Klaritromicin</b> <b>Diklofenák</b> <b>Hidroklorotiazid</b> <b>Metoprolol</b> <b>Venlafaxin</b>	<b>Antipszichotikum</b> <b>Antidepresszáns</b> <b>Antidepresszáns</b> <b>Antibiotikum</b> <b>Fájdalomcsillapító</b> <b>Vizelethajtó, vérnyomáscsökkentő</b> <b>Szívritmus-szabályozó</b> <b>Antidepresszáns</b>
<b>2. Kategória</b>  <b>Könnyen adszorbeálható /oxidálható anyagok</b>	<b>Benzotriazol</b> <b>Kandezartán</b> <b>Irbezartán</b> <b>4-Metilbenzotriazol</b> <b>5-Metilbenzotriazol</b>	<b>Korrózióvédőanyag</b> <b>Vérnyomáscsökkentő</b> <b>Vérnyomáscsökkentő</b> <b>Biocid/Peszticid</b> <b>Biocid/Peszticid</b>

**3. ábra:** Svájcban és a 91/271/EGK irányelv módosítása szerint a EU tagállamokban vizsgálatra kötelezett vegyületek, hatóanyagfajta (Korponai 2023; 91/271/EGK irányelv)

eltávolítási hatások: minimum 80%). Amennyiben az előírt vegyületek közül, adott telepen csakhatnál kevesebb mérhető megfelelő koncentrációban, az illetékes hatóság más anyagokat jelölhet ki.

### 3. SVÁJCI ALAP: VÍZMINŐSÉG JAVÍTÁSÁNAK TÁMOGATÁSA MAGYARORSZÁGON

Magyarországon a Svájci Alap a környezeti- és klímavédelmi tevékenységeken belül többek között támogatja a víz- és szennyvízkezelés tematikus területét is, ennek megfelelően létre jött a Svájci Államszövetség által finanszírozott, „Vízminőség javítása Magyarországon” nevet viselő program. A program támogatja a magyarországi ivóvíz- és szennyvízhálózatok korszerűsítését az uniós szabályozásoknak való megfelelést, ezzel fejlesztve az országos ivóvízellátást és az ivóvíz minőségét (Link 3; Link 4). A program hozzájárul továbbá Magyarország szennyvíztisztítási hatékonyságának javításához és

a mikroszennyező anyagok eltávolításához, összhangban a 91/271/EGK irányelv legutóbbi módosításaival (Korponai 2023).

A program két szakaszra bontható: az első szakaszban 40-60 kiválasztott szennyvíztisztító telepen elvégzett mintavételek, laboratóriumi vizsgálatok alapján készül el az ún. Fehér Könyv, ezt a folyamatot a Szakértői Testület felügyeli. A Fehér Könyvelkészítésének célja, hogy a szennyvíztisztító telepeken bevezetett mérések és technológiák alapján összefoglalja a mikroszennyező anyagok eltávolításának legfőbb ismereteit, jellemzőit, információkalkszolgáljon a jövőbeli fejlesztések támogatásához. Az 1. szakasz mérési eredményei alapján a 2. szakaszgyakorlati kivitelezésére javaslatokat tesz. A program 2. szakaszában az 1. szakaszban kiválasztott 2-3 szennyvíztisztító telepen támogatják a mikroszennyezők eltávolítását szolgáló technológia kiépítését (Korponai 2023). A 3. ábrán feltüntetett vegyületek Svájcban vizsgálatra kötelezett mikroszennyezők, ezek nyomon követését



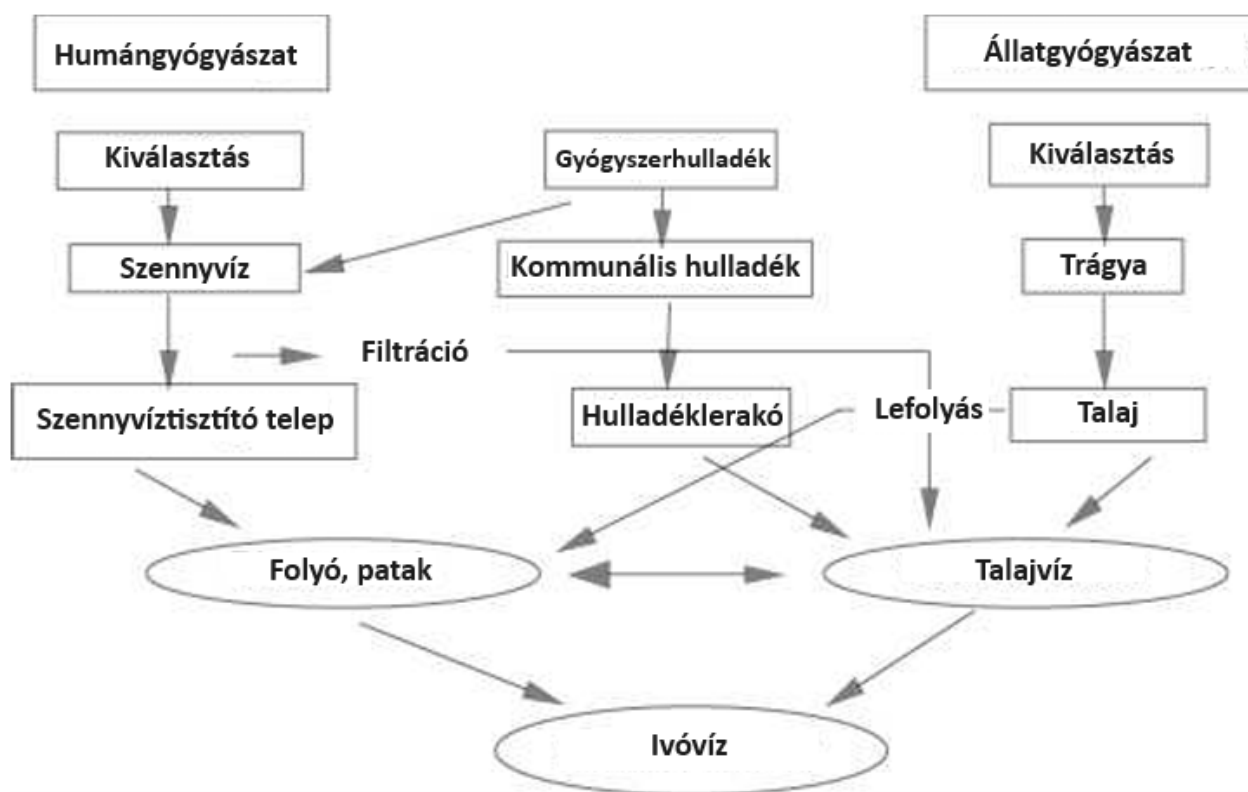
javasolja a 91/271/EGK irányelv is a szennyvíz-tisztító telepeken.

#### 4. A FOLYÓK GYÓGYSZERHATÓ- ANYAG-KONCENTRÁCIÓJA – MI BEFOLYÁSOLHATJA?

##### 4.1. A gyógyszermaradványok sorsa a környezetben

A humán- és állatgyógyászati eredetű gyógyszerkészítmények sorsa a környezetben nagymértékben különbözhet (4. ábra). Az emberi fogyasztáskövetően a hatóanyag bizonyos hányada vizelettel ürül. Amennyiben az adott régió rendelkezik fejlett csatornahálózattal, szennyvízkezelési technológiával, a gyógyszermaradványok a kommunális szennyvízzeleggyütt a szennyvíztisztító telepekre

kerülnek. A szennyvíztelepeken a beérkező, nyers szennyvíz többfokozatú technológiai soronhalad át, miközben a szennyeződések túlnyomó többségétől megtisztul, azonban abennekoncentrálódó gyógyszerhatóanyagok jelentős része átjuthat a tisztítósoron, majda befogadó víztestbekerül. A gyógyszerhatóanyagok sorsa az eltérő fizikai-kémiai tulajdonságaik, biodegradálhatóságuk, valamint a tisztítótelepek műtárgyaiban uralkodó környezeti tényezők következtében eltérő lehet: biológiai lebontás, kémiai átalakulás, és/vagy fizikai (szorpciós) folyamatok eredményeként csökkenhet a koncentrációjuk a szennyvízben. Amennyiben a folyamatok csak részlegesen tudnak végbemenni, akkor a maradék mennyiség távozik a tisztított szennyvízzel az élővizekbe (Ternes 2001). A fenti folyamatoknak ellenálló szennyezők



4. ábra: A gyógyszermaradványok sorsa a környezetben (Halling-Sørensen és mtsai 1998; Khetan és Collins 2007)

Gyógyszervegyület	Koncentráció [ng/L]				
	I. Gyógyszergyár	II. Gyógyszergyár	III. Gyógyszergyár	IV. Gyógyszergyár	V. Gyógyszergyár
<b>Azitromicin</b>	131 - 184	ND	208 - 601	ND	444 - 46.400
<b>Metformin</b>	20.600 - 28.500	85 - 132	2980 - 82.800	1640 - 142.000	75.900 - 189.000
<b>Metoprolol</b>	34 - 90	30.700	15.000 - 31.700.000	2040 - 133.000	35 - 211
<b>Trimetoprim</b>	417 - 9840	ND	409 - 3350	38 - 149	98 - 2350

**1. táblázat:** 5 gyógyszergyár elfolyó szennyvizének gyógyszerhatóanyag-tartalma (Kleywegt és mtsai 2019)

koncentrációváltozás nélkül áthaladnak a szennyvíztisztítási technológián. A szorpció folyamatok révén iszapfázisban dúsuló gyógyszerhatóanyagok a szennyvíztisztító iszapkezelési technológiájában folytatják útjukat, a keletkező stabilizált szennyvíziszap szintén tartalmazhat gyógyszermaradványokat, melyek végül hulladéklerakóban, hulladékégetőben, komposzttelepeken vagy a szennyvíziszap kihelyezése esetén mezőgazdasági területeket végzik. A stabilizált szennyvíziszap talajjavító adalékanyagként történő hasznosítása remek lehetőség a tápanyagaikban egyre inkább elszegényedő termőtalajok védelmére, azonban a szennyvíziszapban akkumulálódó gyógyszerhatóanyagok ily módon bekerülhetnek a talaj-növény rendszerbe, a talajvízbe, akár az ivóvízrendszerbe, a tenyésztett haszonállatok szervezetébe, ezáltal pedig az élelmiszeripari körforgásba is.

Az Európai Unióban a gyógyszerek környezetbe jutásának legnagyobb forrása az emberi és állati kiválasztás (az összes gyógyszer kibocsátás 90%-a), azonban fontos megjegyezni, hogy a gyógyszerhatóanyagok nem csupán exkréció útján kerülhetnek a szennyvízbe. A fennmaradó 10%-os részarány nagyobb részét a gyógyszergyártás során keletkező, jelentősgyógyszermaradvány-tartalmú szennyvizek teszik ki (Link 5). Az 1.

táblázatban öt kanadai (Ontario) gyógyszergyár elfolyó szennyvizének gyógyszerhatóanyag koncentrációját láthatjuk ng/L-ben kifejezve (Kleywegt és mtsai 2019). Megállapíthatjuk, hogy egyrészt a mért értékek igen széles tartományban mozognak (pl. a III. gyógyszergyár elfolyó szennyvizében a metoprolol esetén 15.000 – 31.700.000 ng/L között változott a koncentráció), más részről pedig a gyógyszerhatóanyag-tartalom több esetben is megközelítette, vagy át is lépte a mg/L-es koncentrációt. A gyógyszergyárak által kibocsátott szennyvizek hatása jelentős: gyógyszermaradvány-tartalmukkal a szennyvíztisztító telepeket terhelik, ami, ha nem rendelkezik mikroszennyező eltávolítási fokozattal, akkor várhatóan a tisztított szennyvízzel ugyan csak az élővizekbe bocsátja a gyógyszervegyületeket. A gyógyszeripari kibocsátások mellett a fel nem használt gyógyszerkészítmények nem megfelelő kezelése révén a kommunális hulladék is tartalmazhat számottevő mennyiségű gyógyszerhatóanyagot (Link 5).

Az állatgyógyászati eredetű gyógyszerkészítmények nagyobb valószínűséggel szennyeznek közvetlenül a talajt és a talajvizet, mivel általában előzetes szennyvízkezelés nélkül kerül a környezetbe a trágya és a keletkező szennyvíz (4. ábra). Csapadékos időszakot követően

Folyó	Átlagos vízhozam a torkolatnál [m <sup>3</sup> /s]	Befogadó víztest
1. Amazonas	225 000	Atlanti-óceán
2. Gangesz	43 900	Bengál-öböl
3. Kongó	42 800	Atlanti-óceán
4. Orinoco	37 740	Atlanti-óceán
5. Jangce	31 900	Kelet-kínai-tenger
6. La Plata	27 225	Atlanti-óceán
7. Mississippi	21 990	Mexikói-öböl
8. Jenyiszej	19 800	Kara-tenger
9. Léna	17 200	Laptyev-tenger
10. Szent Lőrinc-folyó	16 800	Szent Lőrinc-öböl
Duna	6 546	Fekete-tenger
Ráckevei (Soroksári)-Duna	25	Duna

**2. táblázat:** A Föld 10 legnagyobb vízhozamú folyója, valamint a Duna és a Ráckevei (Soroksári)-Duna(RSD) átlagos vízhozama a torkolatnál

a felszíni és felszín alatti vizek könnyen szennyeződhetnek humán- vagy állatgyógyászati eredetű gyógyszerkészítményekkel, akár stabilizált szennyvíziszappal vagy állati hígtrágyával kezelt mezőgazdasági területekről való lefolyás miatt (Ternes 2001).

A folyók fokozottan veszélyeztetett víztestek lehetnek mikroszennyezők tekintetében, mivel a szennyvíztelepeken megtisztított szennyvíz befogadói általában a folyóvizek, melyek különböző vízhozamú, esetenként akár érzékeny vízbázisok.

#### 4.2. A hígulás szerepe a tisztított szennyvizet befogadó víztestek esetében

A felszíni víztestek közül a tisztított vagy részben tisztított szennyvizet befogadó folyók esetében a vízhozam, a folyómeder hossza, geometriája, a folyó vízgyűjtő

területéneksajátosságai, valamint a tisztított szennyvíz minősége, mennyisége és bevezetési pontja kulcsfontosságú paraméterek annak becsléséhez, hogy milyen környezeti hatásai lehetnek a vízbázisba jutó gyógyszer-maradványoknak. A nagy vízhozamú folyók esetében a kibocsátott, tisztított szennyvíz nagymértékben hígul, keveredik, ezáltal akár ng/L koncentráció vagy kimutatási határ alá csökkenhet a szennyezőanyagok koncentrációja az alvízi szakaszban. A nagy vízhozamú befogadók esetében a tisztított szennyvíz fertőtlenítése sem indokolt, azonban a kis vízhozamú, várhatóan kisebb mértékű hígulást lehetővé tevő, akár érzékeny víztestek esetében a helyi jogszabályozás kötelezheti a tisztított szennyvizet kibocsátó szennyvíztisztító telepet az elfolyó víz fertőtlenítésére.

Fontos azonban megjegyezni, hogy a szerves mikroszennyező anyagok nagymértékű

perzisztenciája révén akkumulálódhatnak a folyóvizek egyéb fázisaiban: az üledékben és az élőlények szervezetében. Ebből kifolyólag a folyóvizek vizsgálatánál fontos feladat nem csak a vízminták, hanem az üledék és az állat- és növényvilág képviselőinek mintavételezése és vizsgálata is.

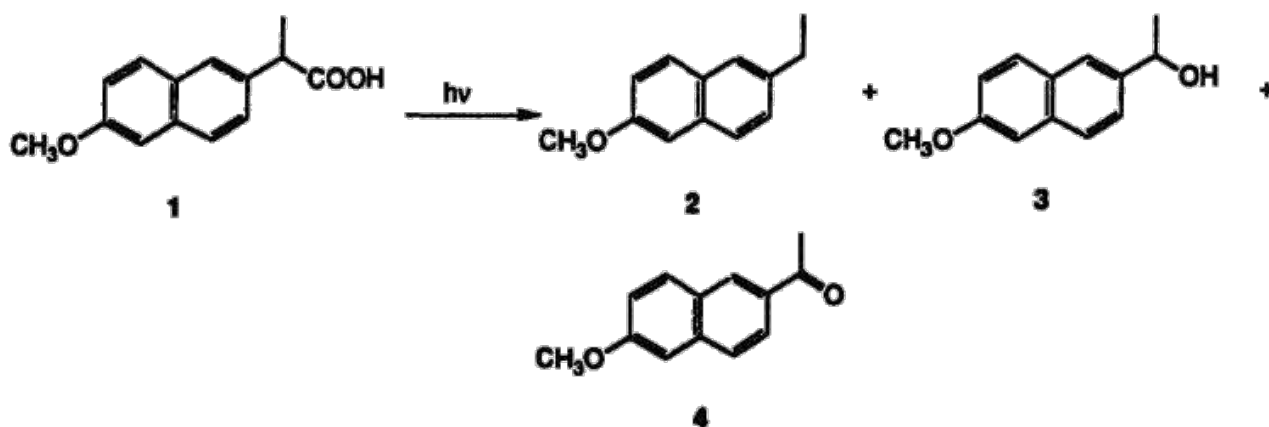
A lehetséges hígulás nagyságrendjét szemlélteti az 2. táblázat adatsora, melyben a Föld 10 legnagyobb vízhozamú folyója szerepel, valamint a Duna és a Duna egyik mellékága, a Ráckevei (Soroksári)-Duna(RSD) átlagos vízhozama. A legnagyobb vízhozamú folyók esetében is előfordulnak olyan bevezetési pontok, melyek kisebb vízhozamú szakaszokat érintenek, valamint a szennyvíz tisztítás hatásfoka nem elégséges, ami rosszabb hígulást, káros környezeti hatásokat eredményezhet az élővilágra nézve. A Duna átlagos vízhozama 6546 m<sup>3</sup>/s, ami lényegesen kisebb, mint a 10-es lista folyóinak vízhozama, azonban ez már kellő hígulást eredményezhet, főleg abban az esetben, ha a bevezetés sodorvonalban történik. A RSD egy 57,3 km hosszú, 14 km<sup>2</sup> felületű, állóvízi jellegű mellékág. A magyarországi Duna-szakasz egyetlen duzzasztott víztestje, térfogata 32-38 millió m<sup>3</sup> között változik, vízhozama átlagosan 25 m<sup>3</sup>/s. Az RSD üzemeltetését, vízszintjének szabályozását a Kvassay és Tassi vízlépcsők együttes és összehangolt működtetése biztosítja. A vízbetáplálást a Kvassay tápzsilip és erőmű biztosítja, amin keresztül évente 550-750 millió m<sup>3</sup> víz kerül betáplálásra a mellékágba, ezzel biztosítva amegfelelő nyári és téli üzemvízszintet és vízhozamot (Link 6). Az RSDtöbbféle feladatot is ellát, többek között a belvizek elvezetését is, emiatt gyakran (pl. belvizes időszakokban) nagyon alacsonyan

szükséges tartani a vízszintet a mellékágban, ami a hígulás mértékét tovább csökkenti. Az RSD-hez hasonló vízbázisok esetében kiemelt feladatnak számít a rendszeres kémiai, biológiai, ökológiai felmérések elvégzése.

### 4.3. A gyógyszerek természetes bomlására: fotodegradáció

A gyógyszerek nagyfokú perzisztenciája, a környezetben való akkumulálódása fontos szerepet játszik annak meghatározásában, hogy milyen káros környezeti hatásokkal rendelkeznek rövid és hosszútávú expozíció esetén. A gyógyszeripari fejlesztések hatására a gyógyszermolekulák ellenállóbbak a biológiai, illetve kémiai lebontási folyamatokkal szemben, ami még inkább súlyosbítja ezt a problémát, azonban az utóbbi évek jogi szabályozási és ismeretterjesztítőrekvései előrelépést tettek abban, hogy a gyógyszerek kibocsátásának korlátozásával, akár szigorúbb gyártói ellenőrzésével, hatékony technológiák bevezetésével csökkenjen a környezetbe kerülő gyógyszermaradványok mennyisége (Khetan és Collins 2007).

Tanulmányok kimutatták, hogy bizonyos gyógyszerhatóanyagok környezeti körülmények között valóban érzékenyek a fotodegradációra, tehát egyes vegyületek a napsütötte víz fotokémiai reakciói által lebomlanak. Fontos azonban, hogy a szerves mikroszennyezők fotodegradációja olyan termékeket eredményezhet, amelyek környezetvédelmi szempontból szintén aggályosak lehetnek(Lam és mtsai 2004).A naproxen, egy széles körben alkalmazott, nem-szteroid típusú gyulladáscsökkentő gyógyszerhatóanyag, érzékeny a fotodegradációra desztillált vízben és folyóvízben is(Lin és Reinhard



5. ábra: A naproxen fotodegradációs termékei (Jimenez és mtsai 1997; DellaGreca és mtsai 2003)

2 +005). A naproxen fotoionizációja és dekarboxilezése során három fő termék keletkezik (5. ábra, 2-4) (Jimenez és mtsai 1997; Bosca és mtsai 2001; Packer és mtsai 2003; DellaGreca és mtsai 2003). A naproxen fototranszformációs termékei nagyobb toxicitást mutattak, mint az alapvegyület, azonban génkárosító hatását nem mutatták ki (Isidori és mtsai 2005).

- 1: Naproxen
- 2: 2-etil-6-metoxinaftalin
- 3: 2-(1-hidroxietil)-6-metoxinaftalin
- 4: 2-acetil-6-metoxinaftalin

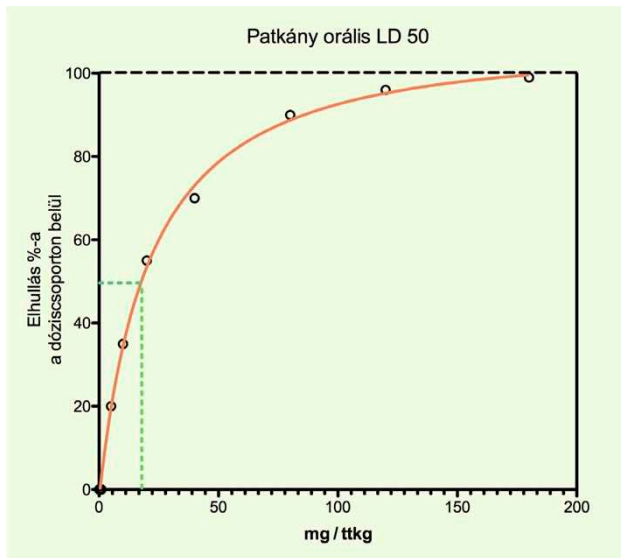
## 5. A GYÓGYSZERHATÓANYAGOK KÖRNYEZETEGÉSZSÉGÜGYI HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA: KÖRNYEZETTOXIKOLÓGIAI PARAMÉTEREK

A gyógyszerhatóanyagok környezetoxikológiai hatásait több paraméter alapján vizsgálhatjuk, értékelhetjük. A környezetoxikológiai paramétereket elkülöníthetjük az alapján, hogy egyedekre vagy pedig környezetre vonatkoztatott mutatókról beszélünk. Az egyedekre vonatkoztatott környezetoxikológiai paraméterek a vizsgálatban szereplő élőlényfajok válaszreakciója

alján állapít meg koncentrációértéket vagy dózist, mely bizonyítottan káros hatással van, illetve halált okoz az adott faj esetében. A környezetre vonatkoztatott környezetoxikológiai mutatók esetében pedig adott közegre (pl. édesvíz, üledék, talaj) számított, illetve vonatkoztatott koncentrációértékeket használunk annak megállapítása érdekében, hogy az adott anyag környezetbeli koncentrációja által okozott kockázat elfogadható-e.

### 5.1. Egyedekre vonatkoztatott környezetoxikológiai mutatók

A káros hatást kiváltó vegyület mennyisége dózisban vagy koncentrációban adható meg. Dózisérték meghatározására akkor van lehetőség, ha a vizsgált anyag közvetlenül, orálisan vagy intravénásan jut be a vizsgált egyed szervezetébe, tehát a káros hatást kiváltó anyagmennyiség ismert (effektív dózis, ED és letális dózis, LD). Abban az esetben, ha a szervezetbe jutó xenobiotikum anyagmennyiségét nem lehet pontosan meghatározni (pl. gáz halmazállapotú anyag belégzése esetén az expozíciós útvonal a tüdőn keresztül vezet, avagy a vizsgált vegyület oldott állapotban van jelen vízi környezetben: ezekben



6. ábra: LD50 érték leolvasása egy képzeletbeli dózis letalitás görbéről (Link 7)

az esetekben a szervezetbe jutott káros anyag mennyiségét nem lehet egyértelműen meghatározni), a vizsgált vegyületkoncentrációértéke adható meg, ami az adott környezetben állandó értékű (effektív koncentráció, EC és letális koncentráció, LC).

Hatásos koncentráció (EC), hatásos dózis (ED)  
A közepesen hatásos koncentráció (Half maximal effective concentration, vagy median effective concentration, EC50) és

a közepesen hatásos dózis (Half maximal effective dose, vagy median effective dose, ED50) azokat a koncentrációkat (mg/L) és anyagmennyiségeket (mg/ttkg) adják meg egy adott vegyület esetén, amely mennyiségek meghatározott expozíciós idő után a kísérleti élőlények 50%-ánál biológiai választ váltanak ki az alapvonal és a maximum között félúton.

### Letális koncentráció (LC), letális dózis (LD)

A közepesen letális koncentráció (Half maximal lethal concentration, vagy median lethal concentration, LC50) és a közepesen letális dózis (Half maximal lethal dose, vagy median lethal dose, LD50) azokat a koncentrációkat (mg/L) és anyagmennyiségeket (mg/ttkg) adják meg egy adott vegyület esetén, amely mennyiségek meghatározott expozíciós idő után a kísérleti élőlények 50%-ának elhullását okozzák (6. ábra).

A 3. táblázatban néhány széles körben alkalmazott nem szteroid-típusú gyulladáscsökkentő gyógyszerhatóanyag EC50 és LC50 értékeit láthatjuk. A vizsgálatokat rák- és algafajokkal értékelték (Cleuvers 2003; Ferrari és

Szervezet	rákfélék	zöld alga	rákfélék	rákfélék	kacsafű
Faj	Da. magna	De. subspicatus	Ce. dubia	Th. Platyrus	L. minor
Toxicitási teszt	mortalitás	növekedésgátlás	növekedésgátlás	mortalitás	növekedésgátlás
Paraméter	EC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>
Mértékegység	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
diklofenák	68,0	71,9	22,7		7,5
ibuprofén	101,2	342,2			22,0
naproxén	166,3	625,5	66,4	84,1	24,2
acetilszalicilsav	88,1	106,7			

3. táblázat: Nem szteroid-típusú gyulladáscsökkentő gyógyszerhatóanyagok akut toxicitása rák- és algatesztekkel értékelve (Cleuvers 2003; Ferrari és mtsai 2004; Marques és mtsai 2004; Pomati és mtsai 2004; Isidori és mtsai 2005)

mtsai 2004; Marques és mtsai 2004; Pomati és mtsai 2004; Isidori és mtsai 2005). A 4. táblázatban pedig tetraciklin antibiotikumok EC<sub>50</sub>értékeit láthatjuk, melyeket édesvízi cianobaktérium és zöld alga szervezetekkel határozták meg. Az EC<sub>50</sub> és LC<sub>50</sub> értékek alapján származtatható a becsült hatásmentes koncentráció (PNEC).

A szerves mikroszennyezők igen változatos módon hathatnak a környezetre és az élőlényekre. Kutatások igazolják, hogy leggyakrabban valamilyen gyulladáshoz vagy anyagcsere-folyamatot gátló hatást váltanak ki az élő szervezetekben (Yee és mtsai 2021), illetve az antibiotikumok esetében az antibiotikum rezisztencia okozhatja közvetett módon a káros hatást (Link 8). A gyógyszer-maradványok koncentrációtól és egyéb tényezőktől függően eltérő hatást fejthetnek ki az élőlényekre, melyek a környezetre és az emberi egészségre gyakorolt várható hatásainak meghatározását nehezíti, hogy gyakran évekbe, akár évtizedekbe telhet ezeket a vizsgálatokat elvégezni, kiértékelni, mivel az okozott károsodások általában nem determinisztikus (minden esetben megjele-  
nik), hanem sztochasztikus (véletlenszerű) jellegűek (Fleit 2019).

## 5.2. Környezetre vonatkoztatott környezettoxicológiai mutatók

Becsült hatásmentes koncentráció (PNEC); előre jelzett környezeti koncentráció (PEC)  
A becsült hatásmentes koncentráció (Predicted No-Effect Concentration, PNEC) egy anyag azon koncentrációja bármely környezetben, amely alatt a káros hatások nagy valószínűséggel nem lépnek fel hosszú vagy rövid távú expozíció esetén sem. A környezeti kockázatértékelés során a PNEC-értéket a tényleges vagy előre jelzett környezeti koncentrációval (Predicted Environmental Concentration, PEC) hasonlítják össze annak megállapítása érdekében, hogy az anyag környezeti koncentrációjának kockázata elfogadható-e.

Ha:

$$PEC/PNEC < 1$$

ahol:

PEC = az adott anyag környezeti koncentrációja

PNEC = az adott anyag becsült hatásmentes koncentrációja,

akkor a kockázat elfogadható (Link 9).

Szervezet	Faj	Toxicitási teszt: EC <sub>50</sub> [µM], 7 nap, növekedésgátlás		
		Antibiotikumok		
		tetraciklin	klórtetraciklin	oxitetraciklin
Cyanophyta (édesvízi cianobaktérium)	<i>M. aeruginosa</i>	0,20	0,10	0,45
Chlorophyta (zöld alga)	<i>Se. capricornutum</i>	4,95	6,46	9,77

4. táblázat: Tetraciklin antibiotikumok toxicitása a fitoplanktonban (Lutzhof és mtsai 1999; Halting-Sørensen 2000)

Környezet, természeti közeg	PNEC	PNEC érték származtatása
Édesvíz	PNEC-édesvíz	Az EC <sub>50</sub> , LC <sub>50</sub> , NOEC stb. legalacsonyabb értéke vízi toxicitási vizsgálatokból (alga, daphnia és hal), osztva az értékelési tényezőkkel
Üledék	PNEC-üledék	A legalacsonyabb NOEC/EC <sub>10</sub> érték üledékben élő szervezetekre, osztva az értékelési tényezőkkel (10-100)
		Az egyensúlyi felosztási módszer (EPM) használata, ha csak vízi toxicitási adatok állnak rendelkezésre
Talaj	PNEC-talaj	A talajban élő szervezetek legalacsonyabb LC <sub>50</sub> /NOEC/EC <sub>10</sub> értéke, osztva az értékelési tényezőkkel (10-100)
		Az egyensúlyi felosztási módszer (EPM) használata, ha csak vízi toxicitási adatok állnak rendelkezésre
Szennyvíztisztító telep mikroorganizmusai	PNEC-STP	Az eleveniszap gátlási tesztből vagy biológiai lebonthatósági vizsgálatokból származó legalacsonyabb NOEC/EC <sub>10</sub> /EC <sub>50</sub> érték, osztva az értékelési tényezőkkel (1-100)

5. táblázat: PNEC értékek származtatása az egyes környezeti elemekre (Link 9)

A PNEC értékeket különféle környezeti elemekre (víz, üledék, talaj, levegő stb.) szükséges származtatni. A PNEC-értékek általában 4 közegre vonatkoznak: édesvízre, üledékre, talajra, valamint az eleveniszapra (a szennyvíztisztító telep mikroorganizmusai). A 5. táblázat foglalja össze, hogy az említett környezeti elemekre mikéntsármaztatják a PNEC értékeket.

Jelenleg a szerves mikroszennyezők, gyógyszerhatóanyagok nem rendelkeznek kibocsátási határértékekkel a szennyvíztisztító telepekre nézve, a 91/271/EGK irányelv legutóbbi módosítása szerint a szennyvíztelepeken az 1. Nagyon könnyen adszorbeálható/oxidálható anyagok és a 2. Könnyen adszorbeálható/oxidálható anyagok

kategóriákba sorolt vegyületek közül legalább hat koncentrációját szükséges monitorozni, valamint eltávolítási határfokot számítani száraz idei hozamra. Amennyiben a mikroszennyezők által okozott környezeti kockázatot szeretnénk valamilyen módon számszerűsíteni, értékelni, akkor a legcélravezetőbb az adott vegyület (pl. gyógyszerhatóanyag) PNEC értékeit összehasonlítani a környezetben mért koncentrációértékeivel, PEC-értékeivel. Ennek megfelelően a felszíni élővizek vizsgálata során mintavételi helyen mért gyógyszerhatóanyag koncentrációját (szennyvíztisztítótelepi tisztított szennyvíz minta esetén a mért koncentráció értékeket a hígulással korrigálva) vetjük össze a PNEC-édesvíz értékével.



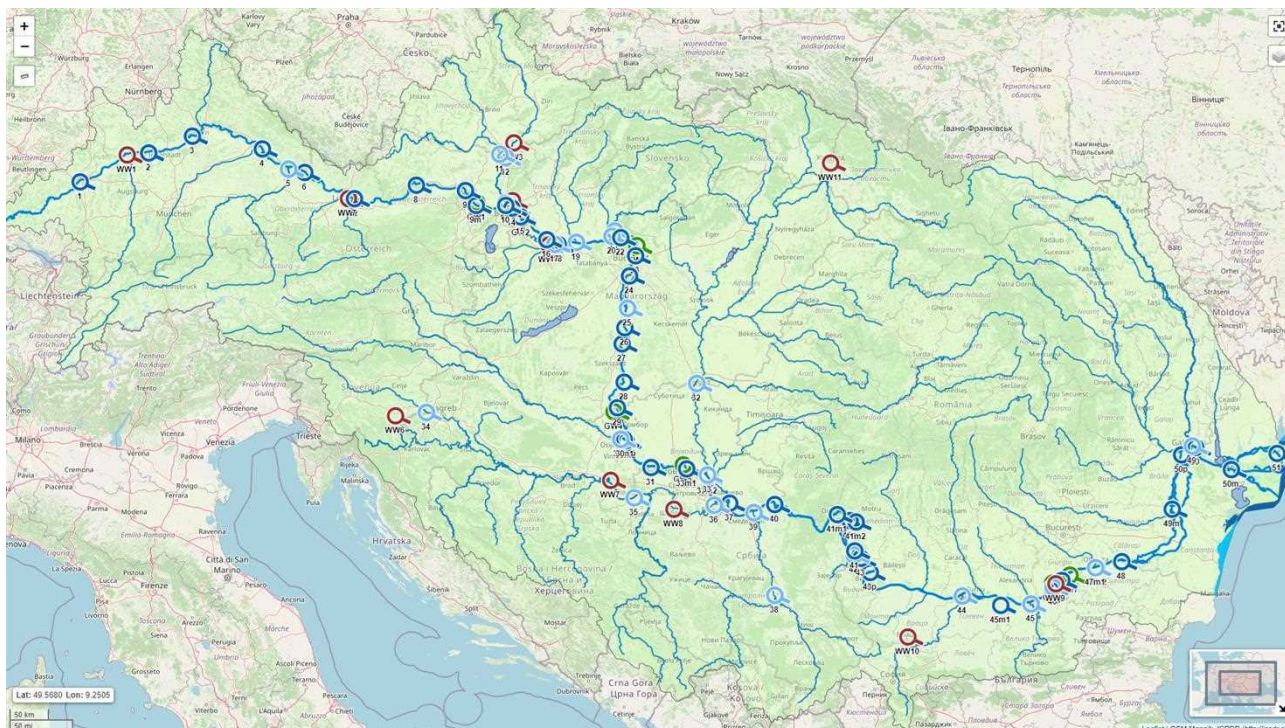
## 6. KÖZÖS DUNA-FELMÉRÉS - JOINT DANUBE SURVEY

### 6.1. A Közös Duna Felmérés célkitűzései

A Közös Duna Felmérés (Joint Danube Survey, JDS) egy 2001-ben induló, több vizsgálat sorozatot magába foglaló, nemzetközi vízminőségügyi projekt, amely átfogó felmérésekről megbízható adatokat, információkat szolgáltat a Duna, valamint főbb mellékfolyóinak vízminőségével kapcsolatban. A projektben kiemelt figyelmet fordítottak azokra a paraméterekre, amelyeket általában nem elemeznek a rendszeres monitorozások során. A kutatás kiterjed az vízgyűjtő területen élő organizmusok vizsgálatára is, továbbá célkitűzése a Duna vízminőségére irányítani a figyelmet, támogatni a folyamatban lévő védelmi és helyreállítási

intézkedéseket. A JDS segíti a Duna-menti kormányokat az általuk 1994-ben aláírt Duna-védelmi Egyezmény végrehajtásában is, valamint afelszíni vizek „jó kémiai és ökológiai állapotú” minőségének elérésében (Link 10).

Ez idáig négy Közös Duna Felmérés készült: 2001-ben (JDS-1), 2007-ben (JDS-2), 2013-ban (JDS-3), valamint 2019-ben (JDS-4). Ezek során a Duna vízgyűjtő területének 13 országában található, összesen 84 helyszínre végeztek el mintavételeket, ezekből vízkémiai, biológiai és ökológiai elemzéseket készítettek. A biológiai és ökológiai kutatások fontos feladata az invazív (özönfaj) idegen fajok vizsgálata, a Duna menti országokban alkalmazott biológiai mintavételi és minősítési módszerek harmonizálása, valamint új módszerek kidolgozása, tesztelése. Amellett, hogy a vízminőséggel



**7. ábra:** A Duna vízgyűjtőterülete, a 2019. évi Közös Duna-felmérés (JDS-4) 85 mintavételi pontjának elhelyezkedése (Link11)

kapcsolatos, összehasonlítható információk gyűjtésére összpontosít, a Közös Duna Felmérés lehetővé teszi a vízfelügyeleti eljárások összehangolását is (Link 10).

A projekt során nem csak a Duna, illetve mellékfolyóinak vizéből vett felszíni vízmintákat vizsgálták, hanem talajvízmintákat, szennyvízmintákat (befolyó nyers és elfolyó tisztított szennyvízminták), üledékmintákat is gyűjtöttek. Emellett teljes körű ökológiai vízminősítés is zajlott, amely során figyelembe vették az adott víztest minden élőlényközösségét: plankton (bakterioplankton, fitoplankton, zooplankton), makrofita társulások (hinárnövények), nekton (halak és más szabadon úszó szervezetek), benton (fenéklakó szervezetek) és biotekton (élő bevonat) (Link 11).

## 6.2. A JDS-4 felmérés mintavételi helyszínei

A 2019. június-júliusi időszakban kivitelezett program 51 felszíni folyóvízminta, 11 szennyvíztelepen megvett befolyó nyers és elfolyó tisztított szennyvízminta, 7 talajvízminta, 11 biotaminta és 4 üledékminta (szemcseméret <math>63 \mu\text{m}</math>) vizsgálatára terjedt ki a Duna vízgyűjtő területén. A 7. ábrán láthatók a kutatás során meghatározott mintavételi pontok a vízgyűjtő területen, a 6. táblázatban pedig a magyarországi szakaszon kijelölt mintavételek helyszínei. Hazánkban egy szennyvíztisztítótelep vizsgált befolyó nyers és elfolyó tisztított szennyvízmintát, a Győri Szennyvíztisztítóban.

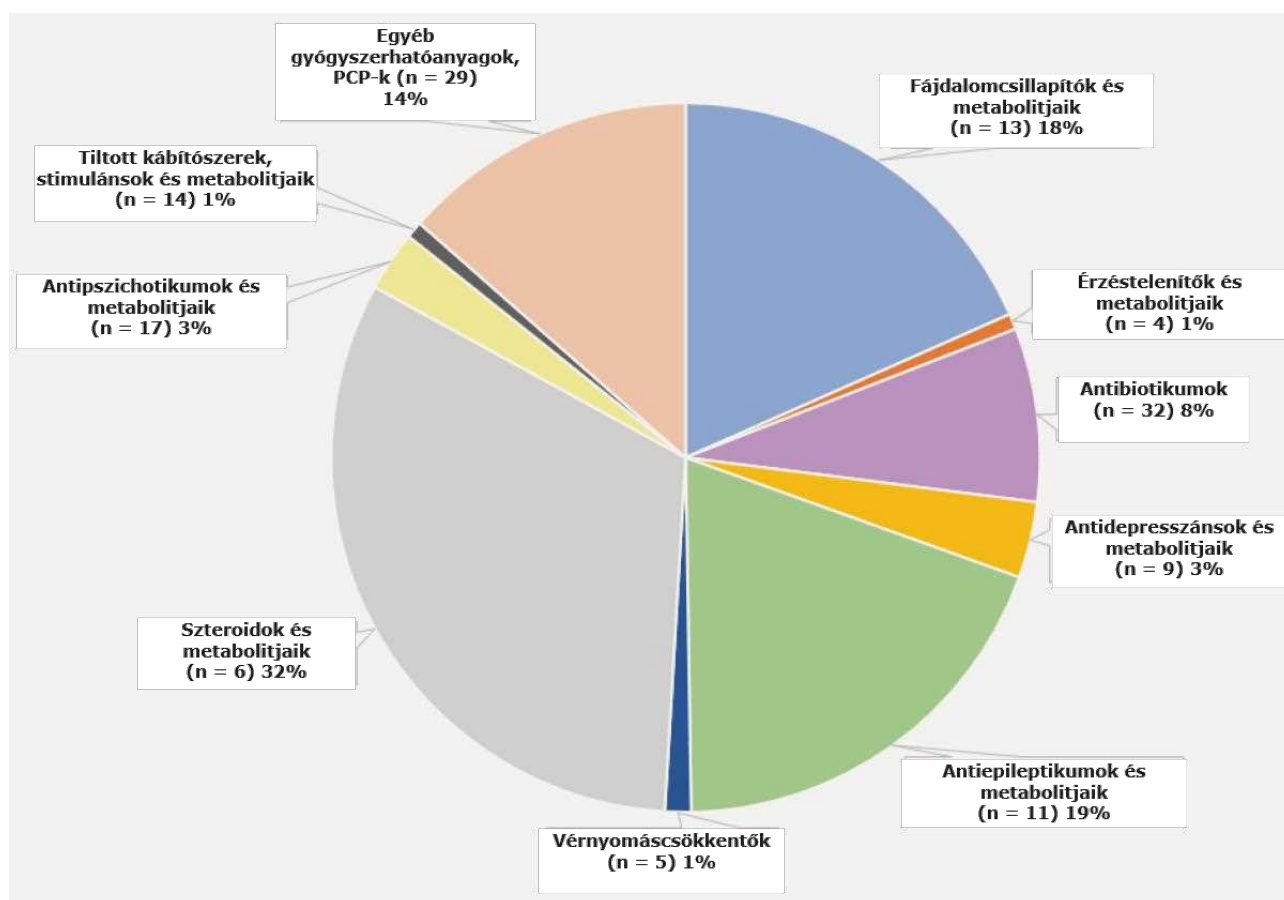
Mintavételi hely	Folyó / Minta jellege
Medved'ov / Medve	Duna
Győr	Szennyvíz
Vének	Mosoni-Duna
Gönyű	Duna
Szob	Duna
Surány	Talajvíz
Budapest felső szakasz (Megyeri híd)	Duna
Budapest alsó szakasz (Deák Ferenc híd)	Duna
Tass	Ráckevei (Soroksári)-Duna
Dunaföldvár	Duna
Paks	Duna
Baja	Duna
Hercegszántó / Batina / Bezdan	Duna
Tiszasziget / Martonoš	Tisza

**6. táblázat:** A 2019. évi Közös Duna Felmérés (JDS-4) mintavételi pontjai a magyarországi szakaszon (Link 11)

## 6.3. A JDS-4 felmérés eredményei

### 6.3.1. Duna és mellékfolyóinak gyógyszerhatóanyag-tartalma

A vizsgált folyóvízmintákban 140 gyógyszert, PCP-t (Personal Care Product), tiltott kábítószer és ezek átalakulási termékét mutatták ki. A leggyakrabban kimutatott gyógyszerek és metabolitjaik az antibiotikumok (32 db), az antipszichotikumok (17 db), a tiltott szerek és stimulánsok (14 db), a fájdalomcsillapítók (13 db) és az antiepileptikumok (11 db) voltak. A kimutatott vegyületek közül minden vizsgált mintában jelen volt a koffein, a klaritromicin,



**8. ábra:** A gyógyszerek és a tiltott kábítószer hozzájárulása az összesített, kumulatív gyógyszer-koncentrációhoz a JDS-4 felszíni vízmintákban (Nika és mtsai 2019)

a szulfametoxazol, a karbamazepin és metabolitja, a 10,11-dihidro-10,11-dihidroxi-karbamazepin, a metformin és a 19-norandroszteron (Nika és mtsai 2019).

A 2019. június-júliusi időszakban végzett felmérés során a gyógyszerhatóanyagok közül legnagyobb mértékben a szteroidok és metabolitjaik járultak hozzá a felszíni vizek szennyezettségéhez (32%), az összes vizsgált minta összes gyógyszerhatóanyag-koncentrációjának százalékos részarányában kifejezve. Őket az antiepileptikumok (19%) és a fájdalomcsillapítók (18%), valamint az antibiotikumok követték (8%) (8. ábra). A vegyületeket jellemzően több tíz ng/L koncentráció

felett mutatták ki. A legszennyezettebb minta összesített, kumulatív gyógyszer-koncentrációja 1330 ng/L volt. A valamennyi mintában azonosított 19-norandroszteron, ami egy szteroid kimutatható metabolitja, jellemzően magas koncentrációja következtében szignifikánsan befolyásolta a folyami vízminták összes gyógyszerhatóanyag-koncentrációját. A vizsgált folyóvízmintákban számos, a korábbi EU-s figyelőlistán (EU 2020/1161, Watch List 2) szereplő vegyületet mutattak ki, pl. az amoxicillint, a ciprofloxacint, a szulfametoxazolt, a trimetoprimet, a venlafaxint és a flukonazolt (Nika és mtsai 2019).

### PCP: Personal Care Products

A felszíni folyóvízmintákban kimutatott gyógyszervegyületek közül csak öt haladta meg a PNEC-édesvíz értéket. A 7. táblázatban láthatók ezek a gyógyszervegyületek, a hozzájuk tartozó PNEC-édesvíz értékek, valamint az érintett vízminták PNEC-édesvíz érték feletti koncentráció-tartománya. A dikloxacillint, a diklofenákot és a karbamazepint rendre egy, kettő és négy folyami vízmintában mutatták ki az ökotoxikológiai küszöbérték feletti koncentrációban. A kandezartán vérnyomáscsökkentő gyógyszer nyolc mintában is meghaladta a PNEC-édesvíz értékét, kifejezetten Németországból, Csehországból és Magyarországról származó mintákban, a Szávában (Jesenice na Dolenjskem, Szlovénia) mért maximális koncentráció pedig 10-szerese volt a PNEC értékének. A 17- $\beta$ -ösztradiolt öt mintában mutatták ki, a PNEC-édesvíz értékénél akár 5,3-szor nagyobb koncentrációban. A cefazolin és az ösztron (E1) maximális koncentrációját a PNEC-értékük közelében mutatták ki. (Nika és mtsai 2019).

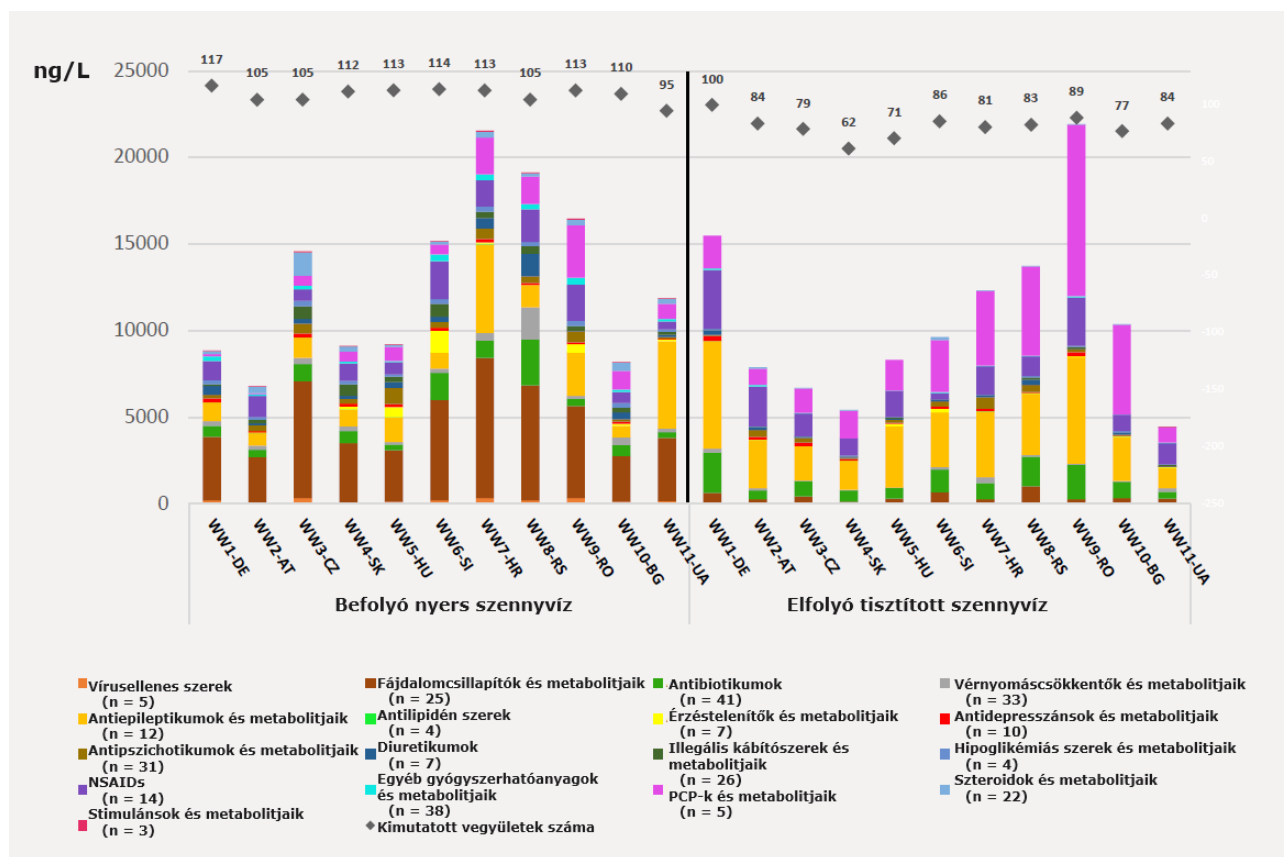
### 6.3.2. Szennyvíztisztítótelepek befolyó nyers és elfolyó tisztított szennyvizének gyógyszerhatóanyag-tartalma

A szennyvízmintákban a vizsgált vegyületekből és azok transzformációs termékeiből összesen 287 gyógyszerhatóanyagot mutattak ki. A 9. ábrán tekinthetjük meg a 11 vizsgált szennyvíztisztító telep befolyó és elfolyó vízarámának gyógyszerhatóanyag-tartalmát, gyógyszercsoportokba rendezve. A leggyakoribb szennyezők között valamennyi csoport képviselői (kiindulási vegyületek és metabolitok is) jelen voltak, minden szennyvízmintában kimutatták őket, mind a befolyó, mind az elfolyószennyvízben. Ez azt jelzi, hogy a kiindulási vegyületeket nem távolították el hatékonyan a szennyvíztisztító telepeken alkalmazott szennyvízkezelési eljárások. A legtöbb kimutatott vegyület az antibiotikumok (41 db), a vérnyomáscsökkentő szerek és metabolitjaik (33 db), az antipszichotikumok és metabolitjaik (31 db) csoportjába tartoztak (Nika és mtsai 2019).

Bár a legtöbb vegyület alacsony, ng/L-es koncentrációban volt jelen, a koffein és

Gyógyszerhatóanyag	PNEC-édesvíz [ng/L]	PNEC-édesvíz feletti mintaszám	PNEC-édesvíz feletti koncentráció tartomány [ng/L]	Mintavételi helyek a legnagyobb koncentrációval
Kandezartán	3,1	8	4,2 - 31,2	Jesenice na Dolenjskem, Száva
17- $\beta$ -ösztradiol	0,4	5	0,473 - 2,10	Devín, Morva
Karbamazepin	50	4	50,9 - 57,6	Čunovo, Gabčíkovo tározó, Duna
Diklofenák	50	2	51,2 - 63,1	Čunovo, Gabčíkovo tározó, Duna
Dikloxacillin	5,1	1	5,49	Devín, Morva

7. táblázat: Gyógyszervegyületek és azok PNEC-édesvíz érték feletti koncentráció-tartománya az érintett mintavételi helyeken (Nika és mtsai 2019)



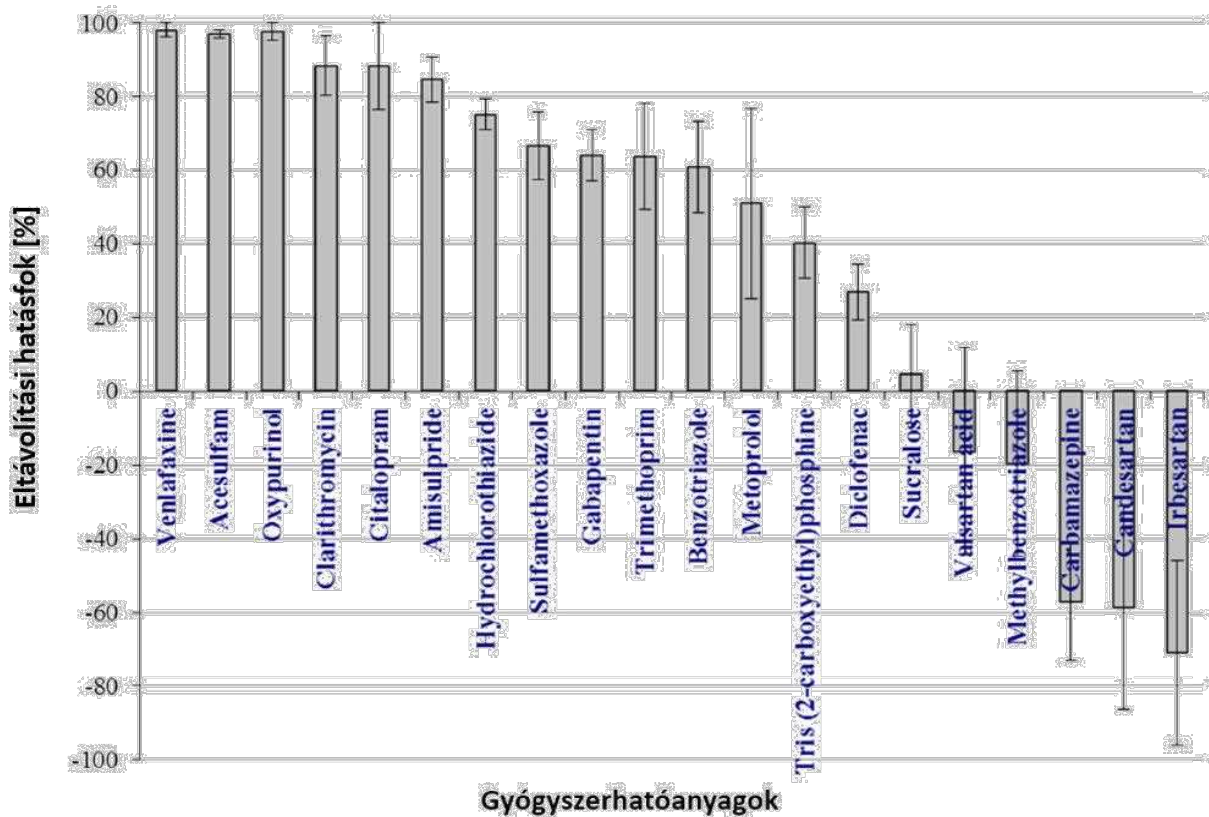
**9. ábra:** A gyógyszerek, tiltott kábítószeres és transzformációs termékeik összesített, kumulatív koncentrációi a befolyó nyers és az elfolyó tisztított szennyvízmintákban, ng/L-ben kifejezve (Nika és mtsai 2019) PCP: Personal Care Products

metabolitja, a teofillin, a tramadol, a telmizartán, a kloxacillin, a szulfametoxazol, a valzartán, a valproinsav, a 10,11-dihidro-10,11-dihidroxi-karbamazepin, a lidokain-N-oxid, a hidroklorotiazid, a diklofenák, a naproxén, a galaxolidon és a prednizolon vegyületek kimutatott koncentrációja elérte a  $\mu\text{g/L}$ -es koncentrációt is: a kimutatott mennyiségek 1,11 - 9,88  $\mu\text{g/L}$  között voltak.

A kimutatott vegyületek száma szignifikánsan nagyobb volt a befolyó nyers szennyvízmintákban (átlagosan 109 db) az elfolyó tisztított szennyvízmintákéhoz képest (81 db), a vegyületek összesített kumulatív koncentrációja azonban nem változott jelentősen: 1,28 és 1,06  $\mu\text{g/L}$  volt a befolyó és az elfolyó szennyvízáramban (Nika és mtsai 2019).

Akorábbi, (EU) 2018/840 bizottsági végrehajtási határozattal létrehozott megfigyelőlistán szereplő 17-béta-ösztadiolt öt szennyvízmintában mutatták ki, 2,02 és 4,04 ng/L közötti koncentrációban, valamint az (EU) 2020/1161 bizottsági végrehajtási határozattal létrehozott következő listán szereplő amoxicillint, ciprofloxacint, szulfametoxazolt, trimetoprimot, O-dezmetilvenlafaxint és flukonazolt is kimutattak (Nika és mtsai 2019).

A szennyvíztisztítótelepek eltávolítási hatékonysága a befolyó nyers és az elfolyó tisztított szennyvízminták gyógyszermaradvány-koncentrációinak összehasonlításával állapítható meg. A 10. ábrán a Svájcban és a 91/271/EGK irányelv módosítása szerint



**10. ábra:** Svájcban és a 91/271/EGK irányelv módosítása szerint az EU-s tagállamokban vizsgálatra kötelezett vegyületek, egyéb indikátorvegyületek átlagos eltávolítási hatásfoka a vizsgált szennyvíztisztító telepeken (Alygizakis és mtsai 2019)

az EU-s tagállamokban vizsgálatra kötelezett vegyületek, valamint egyéb indikátorvegyületek átlagos eltávolítási hatásfokát tekinthetjük meg a 11 vizsgált szennyvíztisztító telepen. Láthatjuk, hogy több hatóanyagot is kiemelkedően magas hatásfokkal távolítottak el a szennyvíztisztító telepeken, 11 vegyület esetében 60% felett, 6 vegyület (pl. amisulprid, karitromicin, venlafaxin) esetében 80% felett volt a hatásfok. Néhány gyógyszerhatóanyag (pl. karbamazepin, kandesartán, irbezartán) eltávolítási hatékonysága azonban negatív értékű volt, ami egyes vegyületek dekonjugációjával magyarázható. A konjugáció – azaz más szerves/szerveetlen molekulákkal való kapcsolódás – az élő szervezetben is lezajló a méregtelenítési folyamatok része, melynek

következtében a kiindulási vegyületnél vízdoldhatóbb molekula képződik, ami a szerveztől való kiürülést segíti (pl. veséken keresztül). A karbamazepin metabolitok formájában is kiválasztódik, melyek a szennyvízkezelés során újra karbamazepinné alakulnak. A befolyó nyers és az elfolyó tisztított szennyvízminták gyógyszermaradvány koncentrációinak összehasonlításával azt tapasztalhatjuk, hogy az elfolyó vízben egyes vegyületek koncentrációja nagyobb, mint a befolyó szennyvízben. A szennyvízhálózatban bekövetkező konjugáció-dekonjugációs folyamatok hatására a befolyó szennyvízben csak kisebb koncentrációban van jelen az alapvegyület, majd a tisztítósor végén növekedhet ennek

koncentrációja, csökkentve az eltávolítási hatásfokot (Alygizakis és mtsai 2019).

## ÖSSZEFOGLALÁS

A szerves mikroszennyezők nagyfokú perzisztenciája, a környezetben való akkumulálódásuk, révén az élővizekben számos gyógyszerhatóanyag jelen van. A gyógyszerhatóanyagok növekvő környezeti koncentrációja összefüggésbe hozható a humán- és állatgyógyászati célra szánt gyógyszerkészítmények nagymértékű fogyasztásával, melyek sok esetben az adott hatóanyag effektív dózisának többszörösét tartalmazzák. Az utóbbi években számos tanulmány született, valamint nemzetközi intézkedések, projektek indultak annak érdekében, hogy a mikroszennyezőkről megfelelő mennyiségű információ álljon rendelkezésre, mely támogatja a jövőbeli környezetvédelmi döntéseket, technológiai fejlesztéseket. A gyógyszerhatóanyagok számos útvonalon kerülhetnek be az élővizekbe, ez által a felszín alatti vizekbe és az ivóvízbázisokba is, továbbá akkumulálódhatnak a növényekben, állatokban, bekerülve a táplálékláncba is. A mikroszennyezők felméréseinek egyik fontos lépése a Duna és vízgyűjtő területének kémiai, biológiai, ökológiai felmérése. Ennek érdekében egy 2001-ben induló nemzetközi vízminőségügyi projekt, a Közös Duna Felmérés (Joint Danube Survey, JDS) átfogó vizsgálatokat végzett 2001-ben, 2007-ben, 2013-ban és 2019-ben. A 2019. évi, JDS-4 néven futó felmérést június-júliusi időszakban végezték el, ami 51 felszíni folyóvízminta, 11 szennyvíztelepen megvett befolyó nyers és elfolyó tisztított szennyvízminta, 7 talajvízminta, 11 biotaminta és 4 üledékminta vizsgálatára terjedt ki a Duna vízgyűjtő területén.

Hazánkban egy szennyvíztisztítótelep vizsgáltak befolyó nyers és elfolyó tisztított szennyvízmintát, a Győri Szennyvíztisztítóban.

A vizsgálatok kimutatták, hogy a Dunában és mellékfolyóiban legnagyobb mértékben a szteroidok és metabolitjaik járultak hozzá a felszíni vizek szennyezettségéhez (32%), az összes vizsgált minta összes gyógyszerhatóanyag-koncentrációjának százalékos részarányában kifejezve. Ezeket az antiepileptikumok (19%) és a fájdalomcsillapítók (18%), valamint az antibiotikumok követték (8%). A legszennyezettebb minta összesített, kumulatív gyógyszer koncentrációja 1330 ng/L volt. A valamennyi mintában azonosított 19-norandroszteron, ami egy szteroid kimutatható metabolitja, jellemzően magas koncentrációja következtében szignifikánsan befolyásolta a folyami vízminták összes gyógyszerhatóanyag-koncentrációját. A felszíni folyóvízmintákban kimutatott gyógyszervegyületek közül öt haladta meg a PNEC-édesvíz értékét. A dikloxacillint, a diklofenákot és a karbamazepint rendre egy, kettő és négy folyami mintában mutatták ki az ökotoxikológiai küszöbérték feletti koncentrációban. A kandezartán nyolc mintában is meghaladta a PNEC értékét, a Szávában mért maximális koncentráció 10-szerese volt a PNEC-édesvíz értékének. A 17- $\beta$ -ösztradiolt öt mintában mutatták ki, a megfelelő PNEC értékeknél akár 5,3-szor nagyobb koncentrációban.

A szennyvízmintákban összesen 287 gyógyszervegyületet mutattak ki. A legtöbb kimutatott vegyület az antibiotikumok (41 db), a vérnyomáscsökkentő szerek és metabolitjaik (33 db), az antipszichotikumok és metabolitjaik (31 db) csoportjátartoztak. A legtöbb vegyület ng/L-es koncentrációban volt jelen,

azonban a koffein és metabolitja, a teofilin, a tramadol, a telmizartán, a kloxacillin, a szulfametoxazol, a valzartán, a valproinsav, a 10,11-dihidro-10,11-dihidroxi-karbamazepin, a lidokain-N-oxid, a hidroklorotiazid, a diklofenák, a naproxén, a galaxolidon és a prednizolon vegyületek kimutatott koncentrációja 1,11 - 9,88 µg/L között volt. A kimutatott

vegyületek száma szignifikánsan nagyobb volt a befolyó nyers szennyvízmintákban az elfolyó tisztított szennyvízmintákéhoz képest. A vegyületek összesített kumulatív koncentrációja nem változott jelentősen: 1,28 és 1,06 µg/L volt a befolyó és a kifolyó szennyvízáramban.

### ▶ IRODALOMJEGYZÉK





# KÉT ÉVTIZEDE ZÁRULT A SVÁJCI ÁLLAMSZÖVE- SÉG KORMÁNYÁNAK MAGYARORSZÁG KÖRNYEZETI ÁLLAPOTÁNAK JAVÍTÁSÁT SZOLGÁLÓ ÁLLAMSEGÉLYE IGÉNYBEVÉTELÉVEL A NYÍREGYHÁZI SZENNYVÍZTISZTÍTÁSI PROJEKT

## BODA JÁNOS

A LÉTESÍTMÉNY TERVEZÉSÉÉRT FELELŐS MÉRNÖKE  
MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT.

A 2000-es évek elején zárult Szennyvíztisztítási Projekt négy elemet tartalmazott:

- 1., a tápanyageltávolításos szennyvíztisztítási projektet**
- 2., a rothasztásos iszapkezelési projektet**
- 3., csatornahálózati rehabilitációs projektet**
- 4., a laboratóriumi fejlesztési projektet**

A Svájci Kormánysegély elnyeréséhez szükséges pályázati tervet, az engedélyezési, tenderkiírási és kiviteli terveket az üzemeltető Nyírségvíz Rt. megbízásából az AQUINNO Kft. közreműködésével a Mélyépterv Komplex Rt. (ma Zrt.) készítette.

A tervezést a svájci Kunzler és Partner AG és a Basler+Hofman AG Mérnökirodák valamint a Nyírségvíz Rt. munkatársai segítették.

A kivitelezők az Alterra Kft., a Csőszer Rt. Villkisz Kft., Nyírép Kft. és a svájci Meto-Bau AG voltak.

Az államsegélyből finanszírozott Svájcban megversenyeztetett gépek beszállítói az AERZEN AG, Gerber Instruments AG, Hidrosta AG, Huber AG, Jenbacher AG, Kaiser AG,

Meto-Bau AG, Techfina SA, Umwelttechnik-Jenni GmbH cégek voltak.

A próbaüzemi teendőket a Nyírségvíz Rt. tisztítási üzem látta el.

A sikeres próbaüzemmel zárult 2050 millió forintos beruházási összköltséggel, 50%-os svájci támogatással megvalósított projekt ünnepélyes lezárására 2002 szeptemberében került sor.

A Nyíregyházi Szennyvíztisztító Telep korszerűsítésével egy olyan jelentős környezetvédelmi beruházás valósult meg, amely mindenben megfelel a hazai és az Európai Unió elvárásainak. A szennyvízből a szervesanyagokon kívül a növényi tápanyagokat – nitrogén és foszfor vegyületeket is – eltávolítják, az iszapokból pedig a környezetbarát, zárt technológiával biogázt és talajjavító anyagot állítanak elő.

A szennyvízvonallal korszerűsítések során a tisztító telep valamennyi üzemelő és üzem kívüli műtárgya felhasználásra került, azokat a folyamatos üzem fenntartása közben jókarba helyezték, szükség szerint átépítették, majd gépészeti berendezéseiket kicserélték,

beillesztették az új technológiai folyamatba, amely csak néhány új műtárgy megépítését igényelte.

Az iszapvonal korszerűsítésekor a levegőt és a talajvizet szennyező, földmedencés iszaprothasztás helyett zárt, fűtött rothasztó tartályokat építettek. A kirothadt iszapot víztelenítés után komposztálják, a komposztot talajjavító anyagként értékesítik. A rothasztáskor keletkező biogázból pedig gázmotorokkal, hő- és villamos energiát állítanak elő.

A hőenergiát a rothasztók fűtésére és a telepi hőigények kielégítésére fordítják.

A gázmotorok generátoraival termelt villamos energiával pedig a telep nagyfogyasztóit látják el. Ezzel a vásárolt villamos energia mennyiségét csökkentik.

Az üzemvitelt korszerű irányítástechnika és az új laboratórium segíti.

A csatornahálózat kritikus állapotú szakaszai is felújításra kerültek.

A cikk megírásának aktualitását az indokolja, hogy újra lehetőség nyílik a Svájci-Magyar Együttműködés” A vízminőség javítása Magyarországon” című program keretében a Szennyvízkezelés programrészben meghirdetésre kerülő pályázati felhívásokra való jelentkezésre.

A pályázati lehetőségekkel kapcsolatos tájékoztatók a [www.svajcialap.hu](http://www.svajcialap.hu) című honlapon érhetők el.

## 1. TERVEZÉSI ALAPADATOK

### 1.1 Terhelési jellemzők

A 90-es évek végén a Nyíregyházán üzemelő I. számú és II. számú szennyvíztisztító telepre együttesen beérkező szennyvíz tényleges

méréseken alapuló mennyiségi és szennyezőanyag terhelési adatai, mint mértékadó tervezési értékek az alábbiak szerint kerültek rögzítésre (ezek az értékek egyben az I. sz. telep korszerűsítésének a tervezett adatai is.)

#### Hidraulikai terhelés:

Szárazidőben	22 000 m <sup>3</sup> /d
Óracsúcs:	1 220 m <sup>3</sup> /h
Nappali átlag terhelés:	1 100 m <sup>3</sup> /h
Órai átlag terhelés:	917 m <sup>3</sup> /h
Éjszakai átlag terhelés:	460 m <sup>3</sup> /h
Csapadékos időben az óracsúcs:	1 500 m <sup>3</sup> /h

#### KOI terhelés:

Téli időszakban (I. félév):	11 000 kg/d
Nyári időszakban (II. félév):	15 000 kg/d
Mértékadó őszi csúcsterhelés:	16 000 kg/d

#### BOI5 terhelés:

Téli időszakban (I. félév):	5 500 kg/d
Nyári időszakban (II. félév):	8 111 kg/d

#### NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N terhelés:

Nyári időszakban (II. félév):	1 460 kg/d
Téli időszakban (I. félév):	1 460 kg/d

#### Összes foszfor terhelés:

Nyári időszakban (I. félév):	120 kg /d
Téli időszakban (II. félév):	130 kg /d

A szennyvizet az előüleptítő rendszeren keresztülvezetve, nyersiszapként a víz KOI

tartalmának mértékadóan 30 %-a, illetve a BOI5 25 %-a leválasztható, így

a biológiai tisztító mértékadó szennyezőanyag terhelése a következők szerint került rögzítésre:

KOI terhelés: 11 200 kg/d  
BOI5 terhelés 6 000 kg/d  
NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N terhelés: 1 460 kg/d  
Összes P terhelés: 130 kg/d

Az előülepítés hatására a víz NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N tartalma gyakorlatilag nem változik (kicsit növekedhet a szerves N ammonifikálódása miatt, de ez elhanyagolható).

A keletkező szennyvíz BOI5 tartalma alapján a konzervgyári szennyvizet nem tartalmazó időszakban a telep lakosegyenértékben kifejezett terhelése: 91 666 LE, ami összhangban van a város lakosságával, illetve amihez a konzervgyár a feldolgozási szezonban még további mintegy 41 666 LE-nyi szennyezőanyag kibocsátása adandó hozzá, azaz a szükséges teljes tisztító kapacitás:

133.333 LE

### 1.1.1 Egyéb szennyvíz jellemzők

A városban keletkező szennyvizek egyéb jellemzői közül a pH-t és az Na<sup>+</sup>-ion tartalmat kell kiemelni.

A víz Na<sup>+</sup>-ion tartalma olyan adottság, amelyen a biológiai tisztítás változtatni nem képes, illetve az Na egyenérték %-ot csak az azt még befolyásoló Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> és K<sup>+</sup> ion koncentrációk növelésével lehet szűk határok között változtatni. A tisztítás során, szükség

esetén, (Ca(OH)<sub>2</sub> adagolásával kell, a kritikus öntözési időszakban, az egyedi Na egyenérték % határértéket betartani.

A Ca(OH)<sub>2</sub> (mészhidrát) adagolás kiépítésének szükségességét az is indokolja, hogy a szennyvíz pH-ja, a konzervgyári eredetű szennyvíz hozzákeveredésekor (különösen az alma-feldolgozási szezon idején), szokatlanul alacsony is lehet. A jelenlegi tapasztalatok szerint II. számú telepre befolyó víz pH-ja időnként, különösen október-november hónapokban, akár 4,5-5,0 pH-tartományra is lecsökkenhet. A pH ilyen mértékű csökkenése az együttes szennyvíztisztítás miatt várhatóan nem következik be, de a magas ammónium tartalom miatt a tisztítás során a pH korrekciójának a lehetőségét biztosítani kell.

### 1.2 A tisztított víz tervezett minősége

Az I. sz. szennyvíztisztító telep esetében a tisztított víz befogadója az ún. VIII. számú főfolyás, amelyre az engedélyező hatóság a 3/1984. (II.7.) OVH rendelkezés IV/1. területi vízminőségvédelmi kategória határértékeinek a betartását írta elő. A rendelet szerinti határértékek közül kivételt csak Na egyenérték % határérték (45 eé%) jelent, amelyre az egyedi határértékek:

május 1. – augusztus 31. között (öntözési idény): 60 eé%

szeptember 1. – április 30. között: 75 eé%

Az egyedi határértékek a továbbiakban is biztosítottak, mivel az ivóvíz magas Na<sup>+</sup> ion tartalma a rendelet szerinti határérték betartását lehetetlenné teszi.

Az előírt fontosabb határérték koncentrációk a következők:

KOI	100 g/m <sup>3</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	10 g/m <sup>3</sup>
Szerves oldószer extrakt	10 g/m <sup>3</sup>
pH	6-9 között
ANA detergens	5 g/m <sup>3</sup>
Levegőanyag	200 g/m <sup>3</sup>

Technológiai és gazdasági okokból a nitrifikálás során keletkező NO<sub>3</sub> részleges eltávolítását is meg kellett oldani. Az elfolyó víz tervezett maradék NO<sub>3</sub> tartalma: 100 g/m<sup>3</sup>, összes nitrogén tartalma pedig: 35 g/m<sup>3</sup> volt.

A javasolt tisztítási eljárás a víz foszfor tartalmának a csökkentését is lehetővé teszi.

A foszfor eltávolítását biztosító vegyszeres (vas só) foszfor kicsapást úgy kell működtetni, hogy a tisztított víz összes P tartalma ne legyen több mint 2 g/m<sup>3</sup>.

## 2. AZ ALKALMAZOTT TISZTÍTÁSI ELJÁRÁS

### 2.1. Az eljárás elve

A tisztítási eljárás kidolgozásakor az I. sz. szennyvíztisztító telep meglévő adottságainak a teljes kihasználása mellett, a szükséges kiegészítő beruházási feladatok üzemeltetési költségeket is figyelembe vevő gazdasági optimalizálásával alakítottuk ki, az alapvetően a meglévő eleveniszapos biológiai tisztítással konform új tisztítási technológiát.

Az új technológia a meglévő mechanikai tisztítási eszköztárat (homokfogó, előülepítők) is hasznosítva, olyan eleveniszapos biológiai tisztítást jelent, amelyben a szerves

szennyezők eltávolítása (biokonverziója) mellett megvalósul az NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N oxidációja (nitrifikálás) és a folyamat során keletkező NO<sub>3</sub>-nitrogén gázzá történő redukciója (denitrifikálás) is.

A nitrifikálást – denitrifikálást a szimultán és elődenitrifikáló rendszerek kombinációjával a meglévő, de a levegőztetés szempontjából rossz adottságú, ún puffer medencében hoztuk létre.

A levegőztető terekbe, a gazdaságilag a jelenlegi felületi levegőztetőknél kedvezőbb, gumimembrános mélylevegőztetőt telepítettünk.

Az igen magas NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N tartalom nitrifikációjának mellékhatásaként jelentkező savanyodási folyamatok, valamint a nyers szennyvíz szokásosnál időszakosan alacsonyabb pH-jából eredő problémák kompenzálására a pH mészhidrátos állításának a lehetőségét is megteremtettük. A mészhidrát adagolásból adódó Ca<sup>2+</sup> ion koncentráció növekedés egyben a tisztított víz Na egyenérték % határértékének a betarthatóságát is elősegíti. (A hatás csak részleges lehet, mert a mészhidrát adagolás miatt növekvő pH egyben a Ca<sup>2+</sup> koncentráció növelésének szab határt.)

A szennyvíz foszfor tartalmának a csökkentését vas (III) só adagolásával biztosítottuk. A vas (III) oldatot az előülepítőkbe és az ún. puffer medencébe lehet adagolni.

## 3. A TISZTÍTÁSI FOLYAMAT RÉSZLETES LEÍRÁSA

A meglévő korszerűsített és az új létesítményeketa fényképmelléletek szemléltetik.

### 3.1. Előmechanikai tisztító egységek

A gravitációsan érkező nyers szennyvíz a fogadó aknánál éri el a telepet, amiből az a rács és átemelő aknába folyik.

Az automatikus tisztítású rácson átfolyó víz 5 db szárazaknás szivattyú emeli fel a két párhuzamosan telepített hosszanti átfolyású homokfogóba. A szivattyúk üzemét szintszabályozó automatika vezérli. Az átemelt szennyvíz mennyiségét a nyomócsőbe beépített indukciós mennyiségmérő méri.

A rács által leválasztott rácscsemét présbe kerül, majd a préselést követően a tároló konténerbe hull. A rácstisztító mechanizmus működésének a vezérlése automatikusan, a vízszintkülönbségről történik.

A homokfogóban kiülepített homokot láncos kotró távolítja el. A kifogott homok szervesanyag és víztartalmát két homokmosó, osztályozó berendezésben csökkentik.

A homokfogás után történik a víz osztása a három párhuzamos telepítésű előülepítőre. Ennél az osztónál lehetőség van a vas (III) oldal adagolására is. A vas adagolást a foszfor eltávolítás szükségessége, vagy a telep egyedi (időszakos) a tervezettnél nagyobb terhelése esetén kell/lehet alkalmazni.

### 3.2. Előülepítés

A három előülepítő üzeme a korábbihoz képest nem változott.

A nyersiszap elvételt szükség szerint, időszakosan kell végezni. A nyersiszap elvételt

motoros tolózárak segítségével automatikusan, időről vagy mennyiségről vezérelten történik.

Az elvett nyersiszapot egy meglévő iszapátemelő aknán keresztül táplálják az iszapkezelő rendszerbe. A nyersiszap koncentrációjának és a mennyiségeknek a mérésére szolgáló berendezések ebben az aknában lettek elhelyezve.

Az előülepítőkről elfolyó vizet a puffer tárolóból kialakított előlevegőztető-denitrifikáló műtárgyba vezetik.

### 3.3. Előlevegőztető – denitrifikálómedence (puffer tárolóból kialakítva)

A szennyvíztisztító telep ezen új eleveviszapos műtárgya több funkciót lát el.

A funkciók közül az egyik a megszokott levegőztető tér funkció, ami miatt ez a műtárgy tekinthető a negyedik levegőztető medencének, de mivel a rendelkezésre álló térfogat jóval nagyobb a szükségesnél, itt ebben az egységben hoztuk létre a denitrifikáló teret is.

Mindez azt jelenti, hogy a lóversenypálya kialakítású viszonylag sekély medencében szimultán nitrifikálást és denitrifikálást valósítunk meg.

A szokásos szimultán rendszerektől (térbeli vagy időbeli szétválasztása az oxikus, anoxikus folyamatoknak) azonban a műtárgy működése abban különbözik, hogy a denitrifikálendő NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-ot nemcsak itt „állítjuk elő”, hanem az elődenitrifikáláshoz hasonlóan a II,III,IV jelű levegőztető medencékben keletkező nitrátot is részben ide vezetjük vissza. Ennek a nitrátnak a visszavezetésére szolgál

a II,III,IV jelű medencék elfolyó víz+iszap elegyének a részleges közvetlen visszavezetése, az ún. kiskörös recirkuláció és az utóülepítők alján kiülepedő iszap teljes áramának – nagy körös recirkuláció – a recirkuláltatása is ide történik.

A recirkulációs folyadékáramban lévő NO<sub>3</sub>-denitrifikálása is a puffer medencéből kialakítandó előlevegőztető rendszerben zajlik le.

A kétféle iszaprecirkuláció térfogatárama azonos és megfelel az ún. nappali átlag (órai) terhelésnek. (100-100 % a recirkulációs arány).

Mindez azt jelenti, hogy az előlevegőztető-denitrifikálóba befolyó előülepített szennyvíz szervesanyag tartalmának egy része felhasználódik a két recirkuláció által szállított NO<sub>3</sub>- redukciójára, illetve a maradék része az oxikus térrészekben a szokásos módon bomlik le.

Természetesen az előlevegőztető-denitrifikáló medence oxikus térrészeiben is keletkezik NO<sub>3</sub>-. Ennek a mennyisége azonban kisebb, mint a két recirkuláció által szállított NO<sub>3</sub>-. A puffer medencéből kialakított előlevegőztető fő feladata inkább az előtisztítás, a szervesanyag koncentráció csökkentése azért, hogy a párhuzamos telepítésű II, III, IV. jelű levegőztető terekben a fő funkció a nitrifikálás teljesíthető legyen.

Az előlevegőztető-denitrifikáló medencében a megfelelő áramlási viszonyokat, az eleveniszap pelyhek kiülepedésének megakadályozását egyrészt a levegőztető rendszer, másrészt a beépített 6 db búvármotoros keverő biztosítja.

Fontos kiemelni, hogy az előlevegőztető-denitrifikáló mélysége nem kedvez a mélylevegőztetésnek (sekély a medence) ezért a diffúzorok elhelyezésénél, az oxigén bevitel nem kapott prioritást, az oxigén bevitelt és a keverést hasonló fontosságúnak vettük.

Az előlevegőztető-denitrifikáló műtárgyban az oldott oxigén koncentráció praktikusán közel nulla lesz, ezért az oxikus folyamatok és az oxigén jelenlétét kizáró denitrifikálás egyidőben egy térben is képes lesz lejátszódni.

Mindazonáltal a levegőztetést itt is állandóan működtetni kell, mivel ellenkező esetben az igen nagy térben az iszap részlegesen be-rothadhatna.

A diffúzorok légellátását biztosító fúvók üzemét a medencékbe telepített oldott oxigénmérők által szabályozzuk. A légfúvók a fúvógeházban találhatóak.

A medencékben folyamatosan mérjük még pH-t is. A pH mérő a víz igen magas NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ion tartalmával kapcsolatban előállható káros pH csökkenés (nitrifikálás savanyító hatása) illetve a konzervgyári szezon idején a befolyó szennyvíz várhatóan savanyú volta miatt bekövetkező pH változás érzékelésére és a lúg adagolás közvetett szabályozására hivatott.

A semlegesnél alacsonyabb pH esetén a puffermedencébe való nyers szennyvíz bevezetés előtt a szennyvízhez méshidrátot lehet adagolni.

A méshidrátot egy külön silóban tároljuk. A méshidrát adagolás külön előnye még, hogy egyben növekszik a víz Ca<sup>2+</sup> ion

tartalma is, ami a Na egyenérték % határérték betarthatóságát teszi realisabbá. Ez utóbbi ok miatt az öntözési szezonban, valamint az almafeldolgozás idején elkerülhetetlen a mészhidrát adagolás.

A mészhidrát igény 0,05 – 0,1 kg/m<sup>3</sup> szennyvíz.

A denitrifikáló-nitrifikáló térbe vezetett nyers szennyvízhez, de már a medencében, a foszfor szennyezés kicsapása érdekében vas (III) só vizes oldatát is adagolhatunk. A vas adagoló rendszer a fúvógépházba van telepítve, illetve a tározó tartály a fúvógépház mellett található.

### 3.4. Átemelő, osztómű I.

Az előlevegőztető-denitrifikáló medencében a vízszint alacsonyabban van (meglévő adott-ság), mint a tisztítás következő lépését jelentő II, III, IV jelű levegőztető (nitrifikáló) műtárgyaké.

Mindez szükségessé tette egy átemelő és a hozzátartozó osztó I. kialakítását.

Az átemelőt és osztóművet a meglévő sűrítő műtárgyból alakítottuk ki. Az iker rendszerű sűrítő terek közötti térben hoztuk létre az átemelő aknát illetve az egyik sűrítő egységből lett kialakítva a II, III, IV jelű levegőztetőkre folyó iszap szuszpenziót egyenlő arányban megosztó osztó-bukó.

Az átemelést csőszivattyúkkal (3+1 db) végezzük. A szivattyúk közül egyet, mindhárom géphez kapcsolható fordulatszám szabályozóval láttunk el. A szivattyúk működését szintszabályozó automatika vezérli. A fordulatszám szabályozóra kapcsolt gép jelenti a finombeállítás, így az állandóan működik.

Az átemelő kapacitása 2200 és 3300 m<sup>3</sup>/h között változhat, vagyis 2200 m<sup>3</sup> /h-nyi iszap szuszpenzió állandóan pörög a rendszerben (kiskörös + nagykörös recirkuláció együttese).

### 3.5. II, III, IV jelű levegőztető (nitrifikáló) medencék

Az átemelő-osztóműből az iszap egyenlő térfogatáram mellett folyik az egyenként 2000 m<sup>3</sup>hasznos térfogatú, párhuzamosan telepített nitrifikáló medencékbe.

A három egységből az ún. II-es jelűn nem terveztünk semmiféle átalakítást, a III-as jelű (volt Kessener kefék rendszer) ténylegesen egy teljes új műtárgyat jelent, amit a Kessener kefék régi rendszer átépítésével (falmagasítás, új levegőztető rendszer telepítése) hoztunk létre, míg a IV-es jelű egységbe új levegőztetőt telepítettünk és a két eddig párhuzamosan működtetett 1000 – 1000 m<sup>3</sup> –es medencét sorba kötöttük.

A három nitrifikáló egység funkciója teljesen azonos, állandó oxigén ellátás mellett kell bennük a szennyvíz NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N tartalmát nitrifikálni, illetve a maradék (denitrifikáló után) szerves anyagot oxidálni.

A három medence levegőztető rendszere egymástól teljesen független, a fúvók működését, fordulatszám szabályozón keresztül oldott oxigénmérő vezérli.

A nitrifikálóban fenntartandó oldott oxigén koncentráció 2 g/m<sup>3</sup>, illetve a tervezett eleve-niszap tartalom 3 kg TS/ m<sup>3</sup>.

### 3.6. Fúvógépház

A három új levegőztető rendszer légellátását biztosító fúvókat egy külön gépházba telepítettük.

A fúvók száma: 9 db, amiből 2-2 db a III-as és IV-es nitrifikáló medencékhez, 3 db pedig az előlevegőztetőhöz tartozik, a tartalék fúvók száma: 2 db.

A fúvógépház gépeihez tartozik még 3 db fordulatszám szabályozó, amelyek a III-as és IV-es jelű medencék valamint a denitrifikáló tér fúvóihoz vannak rendelve.

A fúvógépházban található a két szivattyúból álló vas oldat adagoló berendezés is.

### 3.7. A nitrifikáló medencék utáni osztó II.

A három nitrifikáló medencéből elfolyó iszap áramot egy közösítő osztó II. nevű műtárgyba vezetjük, amelynek a fő funkciója az eltérő kapacitású utóülepítőkre folyó iszapáramok beállítása.

Az osztó aknából történik még a „kiskörös recirkuláció” indítása is.

A „kiskörös” recirkulációs szivattyú folyamatosan üzemel.

Ugyanebben az aknában van elhelyezve a fölős eleveniszap elvételére szolgáló cső is. A fölős eleveniszapot gravitációsan, motoros tolózár és indukciós mennyiségmérő segítségével vesszük el. (Az elvett iszap mennyiségét vagy időről vezérelten vagy –ez a természetesebb megoldás az indukciós mérő jele alapján kell elvenni.)

### 3.8. Utóülepítés

A korszerűsítés a meglévő utóülepítők kotróit nem érintette, de a fogazott bukóelemek, merülő falak cseréjére kerültek és változott az úszóiszap elvezetés módja is. A „nagykörös iszaprecirkulációs” csigaszivattyúk és

a hozzátartozó építmények funkciója megszűnt, az új rendszerben egy teljesen új recirkulációs akna épült. Ebben az aknában vannak az új recirkulációs szivattyúk és a tartalék gépek. Az akna úgy lett kialakítva, hogy az új negyedik utóülepítő recirkulációs szivattyúja is elfér benne. A 6 db (ebből 4 db az üzemi és 2 db a beépített tartalék) szivattyú közül háromnak 70 l/s, háromnak pedig 85 l/s a szállító képessége az utóülepítők eltérő mérete miatt.

A „nagykörös iszaprecirkuláció” folyamatosan üzemel.

A fölősiszap elvételt továbbra is az eddigieknek megfelelően kevert iszapként terveztük.

A fölősiszap mennyiségét külön aknában elhelyezett indukciós műszer méri. Az új III-as jelű utóülepítő a meglévőkhöz hasonló kialakítású 28 m átmérőjű, 2,8 m vízmélységű műtárgy. A medencében leülepedő iszap gyűjtőzsompba kotrását forgókotró biztosítja. A felúszó iszap eltávolítását terelőlemez és billenőlapát végzi. A vízelvétel a kerületen kialakított, egyoldali beömlésű vasbeton vályún keresztül, fogazott saválló acéllemez bukóval történik. Az úszóiszap motoros szelvény nyitásával a telepi úszóiszap átemelőbe, az iszap pedig a recirkulációs átemelőbe engedhető.

Az utóülepítők esetében is, hasonlóan az előülepítőkhöz, a meglévő csőkapcsolatokat üzemkész állapotban hagytuk, növelve ezzel az üzembiztonságot, illetve csökkentve az esetleges havária üzemből adódó károkat. Az új utóülepítőbe a szennyvíz az osztómű II-ből 600 mm átmérőjű vezetéken érkezik. A tisztított víz elvezetésére is egy 600 mm



átmérőjű vezeték szolgál, amely az utóülepítők 800 mm átmérőjű közös elvezető vezetékéhez csatlakozik.

Az utóülepítőben az iszapszint magasságát 1-1 db iszapszint mérő méri. Az iszapszint mérőknek csak ellenőrző funkciójuk van.

#### 4. AZ ISZAPKEZELÉS TECHNOLÓGIÁJA

A Mélyépterv Komplex Mérnöki Zrt.-nek az előzményekben már említett tervei a szennyvíztisztítás során keletkező iszapok kezelésére rothasztást irányoztak elő, az iszapok gépi elősűrítésével, zárt fűtött tartályokban történő anaerob stabilizálásával, kigázosító utósűrítésével, gépi víztelenítésével, a víztelenített iszap komposztálásával, mezőgazdasági elhelyezésével és a rothasztáskor keletkező biogáz gázmotoros hasznosításával.

A rothasztásra azért esett a Tervező választása mert:

- Az iszap szervesanyag tartama a rothasztás során 40-60 %-kal csökken, a kolloid, a nagy vízmegkötő képességgel rendelkező és magas víztartalmú anyagok lebomlanak, így az iszap vízmegkötő képessége csökken, ezért a rothasztott iszap sokkal jobban sűríthető és könnyebb a víztelenítése, mint a nyersiszapé.
- rothasztás során jól hasznosítható biogáz keletkezik, amely 2/3 rész (CH<sub>4</sub>) metánt és 1/3 rész széndioxidot (CO<sub>2</sub>) tartalmaz. A biogáz fűtőértéke átlagosan 23,0 MJ/m<sup>3</sup> (5500 kcal/m<sup>3</sup>), tehát ez lényeges energiaforrást jelent,
- rothasztás a Coliform baktériumok számát minimális mértékűre csökkenti,

a betegségkókozó spórákat, féreg-tojásokat, férgeket elpusztítja, illetve életképességüket csökkenti,

- a víztelenített rothasztott iszap szalma hozzákeverésével jól komposztálható, a komposzt mezőgazdasági elhelyezéssel hasznosítható.

#### 5. AZ ISZAPKEZELÉS ISMERTETÉSE

A rothasztásra kerülő iszapok tervezett mennyiségi és minőségi adatai a következők voltak:

Napi átlagos iszapmennyiség  $Q = 360 \text{ m}^3/\text{d}$

Napi szárazanyag mennyiség (TS)  $G_{\text{sza}} = 7200 \text{ kg}/\text{d}$

Százalékos szárazanyagtartalom  $= 2,0 \%$

Százalékos szerves szárazanyag tartalom  $c = 70 \%$

A biológiai tisztítás előülepítőiben kiülepített kevert iszapot 100 m<sup>3</sup>-es tároló homogénizáló medence fogadja. A kb. 2-3 % szárazanyag tartalmú, homogénizált kevert iszapot a tárolómedencéből változtatható szállítóteljesítményű csavarszivattyú továbbítja – szálpréren keresztül – a gépi elősűrítő berendezésbe. A csavarszivattyú védelmét aprító egység biztosítja.

Az iszapszűrő szálfogó és préselő berendezés az anaerob rothasztásnál problémát okozó szálanyagokat távolítja el, ezzel az úszókéreg kialakításának az esélye csökken, vagy megszűnik.

A túlnyomás alatt működő gépben a szűrőzóna lyukmérete 5 mm, a szüredék préselőjéé

2 mm. A visszatartott kipréselt szál as anyagot konténerben gyűjtik.

Az iszap ezután a gépi elősűritőbe kerül.

A 7200 kg/d mennyiségű 2 % szárazanyag-tartalmú kevert iszap 6-8 %-ra való sűritése kb. 12-20 h/d üzemidő mellett történik.

A sűrités hatásfokának javítása céljából polielektrolit oldal adagolásával működik a berendezés.

A gépi elősűritéssel a rothasztók hidraulikai terhelése, a hőcserélők mérete, a keverők kapacitása csökkenthető.

A sűritett iszapot szintről vezérelt, nagynyomású változtatható teljesítményű csavarszivattyú továbbítja a rothasztókba. A feladott iszap mennyiségét, sűritését és hőmérsékletét a rothasztók gépházában mérik.

Az iszaprothasztók az elősűritett iszap + 35 °C-on történő anaerob stabilizálását végzik.

A rothasztók tervezési alapadatai a következők voltak:

Rothasztó térfogat  $VR = 2 \times 2000 \text{ m}^3 = 4000 \text{ m}^3$

Napi átlagos iszapmennyiség:  $Q = 120 \text{ m}^3/\text{d}$

Napi szárazanyag mennyiség:  $G_{sza} = 7200 \text{ kg}/\text{d}$

ebből szerves  $G_{sze} = 5040 \text{ kg}/\text{d}$

- ebből szerves  $G_{szt} = 2160 \text{ kg}/\text{d}$

Százalékos szárazanyag tartalom:  $c = 6,0 \%$

Tartózkodási idő: 25-35 nap

Iszapbetáplálási idő: 12-20 h/d

A rothasztók fajlagos szerves szárazanyag terhelése:  $1,25 \text{ kg}/\text{m}^3/\text{d}$

Keletkező biogáz: 2000-2340  $\text{Nm}^3/\text{d}$

A vasbetonból készült alul-felül 45 o-os kúp-szögű rothasztók belső átmérője 12,5 m. A teljes magasság 23,55 m. a folyadékszint magassága 22,4 m.

A rothasztók tetején került kialakításra egy-egy felül részben nyitott „zseb”. Itt helyezték el az úszóiszap eltávolítására szolgáló nyitható-zárható ajtót, és a kézi tisztítású rácsot.

A rothasztó tetején időnként összegyűlő ún. úszóiszapkeveget a zsilipkiképzésű ajtó nyitásával – rácson való szűrés után - a kirothadt iszap elvételi rendszerén keresztül az utósűritőbe lehet vezetni.

A „zseb”-ben nyert elhelyezést még a rothasztó folyadék szintjének beállítására szolgáló teleszkópcső és a műtárgy túlfolyja is.

A rothasztók párhuzamosan üzemelnek. A napi iszapmennyiséget a két rothasztó között fele-fele arányban osztják szét. A betáplálási idő a gépi sűrités üzemidejéhez igazodik. Az iszap keringtetést mindig a nyersiszappal táplált rothasztóhoz rendelik.

A gépi sűritő variátoros csavarszivattyúja által szállított hideg sűritett iszap az oltókeverőben keveredik össze az iszaprecirkuláció által szállított meleg iszappal, majd egy hőcserélőn áthaladva felső betáplálással kerül a rothasztóba.

Az iszaprecirkulációs szivattyúknak a rothasztó hőntartása miatt van szerepük. A szivattyú a program szerint kijelölt rothasztóból szívja a 35 °C-os iszapot. A hideg iszap egy Y alakú

keverő szakaszban találkozik a rothasztóból visszazívott meleg iszappal.

A 300 kW-os hőcserélő ezt az iszapot melegíti fel a betáplálási hőmérsékletre, melynek értéke 35,6 °C. A hőcserélő fűtőközege a gázmotorok hulladékfűtőjéből előállított melegvíz. Ez a hőcserélő biztosítja az iszap felmelegítésén kívül a keringtető szivattyúkkal együtt a rothasztók hőntartását is.

Újszerű a rothasztó keverése is. A keverést csigavonal lapátos HALBERG keverő végzi, melynek a hatásosságát szívócső fokozza. A keverő kétirányú lentől felfelé, illetve fentről lefelé irányuló folyadék szállítására is képes, így az úszókéreg széttörését is elvégzi. Az esetleges úszókéreg eltávolítása a korábban ismertetett nyitható ajtón keresztül lehetséges.

A rothasztókba felváltva történik felülről a nyersiszap betáplálása, melynek eredményeképpen ugyanakkora térfogatú fenékiszap távozik a teleszkópcső felső élén a 125 m<sup>3</sup> térfogatú kigázosító-utósűrítő műtárgyba. Innen az iszapot egy 70 m<sup>3</sup> térfogatú kevert homogenizáló medencébe emelik. Ebből a medencéből szívnak az iszapvíztelenítő szalagsűrőprések feladó szivattyúi. A 22 m<sup>3</sup>/d mennyiségű 22 % szárazanyagtartalmú víztelenített iszapot konténerben a komposztáló telepre szállítják.

A komposztáláshoz már korábban is biztosítottak voltak a feltételek, a beton érlelő medencék, a szalma és kész terméktároló, a kotró és homlokrakodó gépek.

A kiérlelt ellenőrzött komposzt értékesítésének, folyamatos elhelyezésének a jövőben sem lesz akadálya. A komposztálás magas

hőmérsékleten végbemenő bűzmentes folyamat, amihez a jelenlegi védőtávolságok elegendők.

## 6. A ROTHASZTÁS SORÁN KELETKEZŐ BIOGÁZ HASZNOSÍTÁSA

Az anaerob fermentáció reakció mechanizmusa három elkülöníthető szakaszra bomlik:

- cseppfolyósítás (hidrolízis),
- savas erjedés,
- metán fermentáció.

A folyamat sebessége attól függ, hogy az illó savak milyen sebességgel alakulnak át metánná és széndioxiddá.

Anaerob fermentáció mellékterméke a biogáz, mely főleg metánt (CH<sub>4</sub>) tartalmaz 55-70 %-ban. A többi széndioxid, illetve 1 % alatt vannak az egyéb anyagok (kénhidrogén, stb.)

A rothasztókba betáplált iszap szerves részének 40-60 %-a lebomlik, gázzá alakul át.

A lebomlott 2520-3024 kg/d mennyiségű szerves anyagból naponta átlagosan 2000-2400 Nm<sup>3</sup> biogáz képződik.

A biogáz fűtőértéke = 23,0 MJ/Nm<sup>3</sup>, illetve 6,2 – 6,4 kWh/Nm<sup>3</sup>.

A keletkezett gáz a rothasztóból a felső dóm-ba hegesztett csepp- és hab leválasztón keresztül egy 500 m<sup>3</sup>-es gáztárolóba távozik.

A gáztároló biztosítja a szükséges alapnyomást, illetve kiegyenlíti a gázkeletkezés és a felhasználás intenzitása közötti különbséget. A hazánkban először most alkalmazott rugalmas műanyag fóliából (poliészter-PVC kombináció) készített párnás gáztároló párnalemezei vasbeton alapon helyezkednek el.

A gázpárnák tetején leterhelő súly található. Ez biztosítja a gáztartályban – a benne lévő biogáz térfogatától függően – a túlnyomást, melynek értéke 25-50 mbar.

A műanyag gázpárnát a külső behatások ellen (szél, hő, csapadék stb.) könnyűszerkezetű építmény védi.

A gáztárolóból elvezetett biogáz gázmotorokban, vagy kazánokban elégetve hasznosítható.

A gáztároló túltöltését megakadályozandó a felesleges gáz elfaklyázásra kerül.

A 150 m<sup>3</sup>/h teljesítményű automatikus gyűjtésű gázfáklya beindítását a gáztároló teltségét érzékelő műszer vezérli.

A biogáz gázmotorban történő elégetésével elektromos energia termelhető, és hasznosítható hőenergia is keletkezik.

A termelt villamos energia a szennyvíztisztító telepen felhasználható, a vásárolt villamosenergia mennyiségét csökkenti. A hőenergia pedig a kezelendő iszap felfűtésére fordítható.

A gázmotorokat és a kazánt a kazánházba telepítették. A kazán feladata a gázmotor kiégetése esetén a szükséges hőenergia szolgáltatása.

A két darab gázmotor a JENBACHER ENERGIE SÍSTEM AG gyártmánya.

Típusa: JMS 156 GS-B/N.L

Ennek a típusnak ez az első magyarországi alkalmazása.

Elektromos teljesítmény 143 kW/db

Hő teljesítmény: 213 kW/db

Melegvíz szolgáltatási hőfoklépcső: 90/70 oC  
Üzemanyag fogyasztás:

biogáz (fűtőérték 6,4 kWh/Nm<sup>3</sup>) 65 m<sup>3</sup>/h / db

földgáz (fűtőérték 9,5 kWh/Nm<sup>3</sup>) 43,8 m<sup>3</sup>/h /db

A motor háromfázisú, generátorral van összeépítve. A generátor által termelt villamos energia (143 kW/db) a hálózattal párhuzamos üzemben és szigetüzemben használható fel a szennyvíztisztító telep fogyasztóinál.

A motor hűtésből, a kenőolaj rendszerből, a közbenső hűtőből és a távozó füstgázból származó hulladék hő a sorba kapcsolt hőcserélő rendszerben keringő vizet 90 oC-ra felmelegíti. Ez a 90 oC-os víz a szennyvíztisztító telep hőfogyasztóinak fűtésére használható fel.

A két gázmotor együttesen hasznosítható hőmennyisége: 426 kW.

A 426 kW-ból 300 kW az iszaphőcserélő fűtését biztosítja, a maradék kb. 100-120 kW az iszapkezelő és gázmotor gépház, valamint a hőcserélő gépház fűtését látja el.

## 7. PRÓBAÜZEMI TAPASZTALATOK

Az előzőekben ismertetett szennyvíztisztítási korszerűsítési munkák 950 millió forintos költséggel, ötven százalékos svájci támogatással valósultak meg. A kivitelezés az Alterra Építőipari Kft. fővállalkozásában 2000 novemberében kezdődött, a műszaki átadást követően a próbaüzem 2001. augusztus 21-től október 20-ig tartott. A próbaüzemet a Nyírségvíz Zrt. tisztítási üze me végezte.

A tisztítandó szennyvíz minőségi adatai mg/l-ben 1. sz. táblázat

Szennyező anyag	KOI	BOI <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	ÖN	öP	SZOE	ANA	LA
Átlag	1311	872	78	101	13,6	22,0	2,53	478
Minimum	950	650	23	34,6	9,2	16,8	1,40	300
Maximum	1670	1200	156	196	18,0	27,6	3,10	800

A szennyvíz mennyisége a próbaüzem alatt 14.782 és 23.669 m<sup>3</sup>/d között változott, az átlag érték 18.538 m<sup>3</sup>/d volt.

A szennyvíz minőségi adatainak ingadozásait az 1. sz. táblázat részletezi.

A telep átlagos szennyezőanyag terhelése a próbaüzem alatt a következő volt:

KOI:	24 303 kg/d
BOI <sub>5</sub> :	16 165 kg/d
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N:	1 446 kg/d
Összes N:	1 872 kg/d
Összes P:	252 kg/d

A lakosegyenérték terhelés: 269 417 LE volt

Ezek az értékek a konzervgyári termelés fel-futása miatt a tervezettnél jóval magasabbak. Az eltérés KOI-ban 151,9 %, BOI<sub>5</sub> –ben 202,1 %, összes foszforban 193 %, míg az NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N terhelés közel a tervezett volt.

A tisztított szennyvíz minőségi adatai mg/l-ben 2. sz. táblázat

Szennyező anyag	KOI	BOI <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	ÖN	öP	SZOE	ANA	LA
Átlag	56,8	10,8	1,10	9,3	1,00	0,7	0,14	30,2
Minimum	20,0	3,0	0,06	4,4	0,17	0,6	0,06	12,0
Maximum	88,0	17,0	4,90	14,5	2,50	0,8	0,24	56,0

Ennek ellenére a tisztított szennyvíz paraméterei a 2. sz. táblázat összeállítása szerint a próbaüzem teljes időszaka alatt az előírt határértékek alatt maradtak:

A szennyezőanyagokénti átlagos tisztítási hatásfokokat a 3. sz. táblázat részletezi.

Az iszapkezelés 1100 millió forintos beruházási költségű létesítményeinek a próbaüzeme a 2001 december végi műszaki átadást követően kezdődött el, és 2002. július 31-én fejeződött be.

A próbaüzemek során a szennyvíztisztítási és az iszapkezelési technológia, a gépészeti és egyéb berendezések megfelelően működtek, a meghibásodások a garanciális javítások körében maradtak.

A tisztítótelep ünnepélyes átadására 2002. szeptember 19-én került sor.

Tisztítási hatások 3. sz. táblázat

<b>Szennyező anyag</b>	<b>Tisztítási hatások</b> <b>%</b>
KOI	95,6
BOI <sub>5</sub>	98,7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .N	98,7
ÖN	89,7
öP	82,1
SZOE	96,7
ANA	99,2
LA	93,5

## 8. GAZDASÁGI ÉRTÉKELÉS

A beruházás lezáráskori gazdasági értékelési mutatóit a 4. sz. táblázat foglalja össze:

4. sz. táblázat A gazdasági értékelés mutatói

<b>Megnevezés</b>	<b>Mutató</b>
1. Szennyvízvonál beruházási költsége	950 millió forint
2. Iszapvonál beruházási költsége	1.100 millió forint
3. A tisztító telep tervezett hidraulikai kapacitása	
• száraz időben	22.000 m <sup>3</sup> /d
• csapadékos időben	30.000 m <sup>3</sup> /d
4. A tisztító telep tervezett lakosegyenérték terhelése	
• konzervgyári szezonban	133.333 LE
• konzervgyári szezonon kívül	91.666 LE
5. A tisztító telep tényleges hidraulikai terhelése a próbaüzem alatt	
• minimális	14.782 m <sup>3</sup> /d
• átlagos	18.538 m <sup>3</sup> /d
• maximális	23.669 m <sup>3</sup> /f
6. A tisztító telep tényleges lakosegyenérték terhelése a próbaüzem alatt	269.417 LE
7. A fajlagos beruházási költség a szárazidei szennyvízmennyiségre számolva	93.182 Ft/m <sup>3</sup>
8. Az 1 m <sup>3</sup> szennyvízre jutó tényleges üzemeltetési költség	67 Ft/m <sup>3</sup>
9. Az 1 m <sup>3</sup> szennyvízre jutó tényleges villamosenergia felhasználás	0,46 kW/m <sup>3</sup>
10. A tisztító telepet üzemeltetők teljes létszáma	22 fő

A táblázatban szereplő mutatókat összehasonlítva más hasonló célú és terhelésű, már működő berendezésekkel elmondható, hogy azoknál az 1 m<sup>3</sup> szennyvízre jutó beruházási költség meghaladta a 1000.000 Ft/m<sup>3</sup> értéket és a fajlagos üzemeltetési költség is több volt mint 70 Ft/m<sup>3</sup>. Ezek a mutatók például egy 15.000 m<sup>3</sup>/d hidraulikai kapacitású és 218.500 LE terhelésű szennyvíztisztító telep korszerűsítésénél 157.307 Ft/m<sup>3</sup>, illetve 78,9 Ft/m<sup>3</sup> értékűek voltak.

A szennyvíztisztító telep energetikai mutatóit a Nyírségvíz Zrt. a projekt lezárását követő években tovább javította.

A villamos energia felhasználás csökkentésére a levegőztető medencékben a légbeadagoló elemeket hatékonyabbra cserélték. A denitrifikáló medencében a gyorskeverőket kisebb fogyasztású áramlaskeltőkkel váltották fel.

A biogáztermelés növelésére víztelenített szennyvíziszap fogadót építettek.

A vásárolt villamosenergia felhasználás csökkentésére egy harmadik 144 kWh teljesítményű gázmotort vásároltak és telepítettek.

A szalagszűrős iszapvíztelenítő gépeket hatékonyabb centrifugákra cserélték, ezzel komposztálóba való szállítás költségét csökkentették.

A Baden-Württembergi Tartomány Környezetvédelmi, Klíma és Energia-gazdálkodási Minisztériumának a Magyarországi kommunális szennyvíztisztító telepek energia hatékonyságának felmérésére 2019-20 -ban készült projektjében megállapításra került, hogy a Nyíregyházi szennyvíztisztító telep fajlagos energia felhasználása jelentős mértékben a badenwürttembergi referenciaérték mediánja, azaz 39 kWh/LE, év alatt volt.

## 9. ÖSSZEFOGLALÁS

A nyíregyházi szennyvíztisztító telep korszerűsítésével egy olyan jelentős környezetvédelmi beruházás valósult meg, amely mindenben megfelel a hazai és az európai uniós elvárásoknak. A szennyvízből a szervesanyagokon kívül a növényi tápanyagokat, a nitrogén és foszfor vegyületeket is eltávolítják, az iszapokból pedig a környezetbarát, zárt technológiával biogázt és talajjavító anyagot állítanak elő. A szennyvízvezeték korszerűsítésekor a tisztító telep valamennyi üzemelő és üzemmen kívüli műtárgya felhasználásra került,

azokat folyamatos üzem fenntartása közben jókarba helyezték, szükség szerint átépítettek, majd gépészeti berendezéseiket kicserélték, beillesztették az új technológiai folyamatba, amely csak néhány új műtárgy megépítését igényelte.

Az iszapvonal korszerűsítésekor a levegőt és a talajvizet szennyező, földmedencés iszaprothasztás helyett zárt, fűtött rothasztó tartályokat építettek. A kirothadt iszapot víztelenítés után komposztálják, a komposztot talajjavító anyagként értékesítik. A rothasztáskor keletkező biogázból pedig gázmotorokkal hő- és villamosenergiát állítanak elő. A hőenergiát a rothasztók fűtésére és a telepi hőigények kielégítésére fordítják. A gázmotorok generátoraival termelt villamos energiával pedig a telep nagyfogyasztóit látják el. Ezzel a vásárolt villamosenergia mennyiségét csökkentik. Az üzemvitelt korszerű irányítástechnika segíti. Az építési munkák közül a rothasztókét kell kiemelni. A rothasztó egy összetett héjszerkezetű anyagában víz- és gázzáró kialakítású vasbeton műtárgy, amelyet csúszózszaluzatos technológiával építettek meg. Figyelemre méltó volt az alsó és felső kúpfej és a hengercső vízszigetelő kapcsolatának a kialakítása is. A két rothasztó közötti karcsú lépcsőház alatti alépítmény funkcionális igényeket is kielégítő szerkezet, a gépészeti berendezéseket fogadja be. A lépcsőház és a rothasztó tornyok kapcsolatát könnyű hídszerkezetek biztosítják. A szennyvíz- és az iszapvonal többi létesítménye hagyományos kialakítású, de igényesen megépített vasbeton szerkezetű műtárgy, illetve téglafalazatú gépház.





## A SZERZŐRŐL:



Boda János okleveles építőmérnök, Környezetvédelmi szakmérnök a Mélyépterv Komplex Zrt. technológus főmérnöke, az igazgatóság tagja.

Több évtizedes munkája során számos hazai és külföldi szennyvíztisztító telepnek és kapcsolódó létesítményeinek az előkészítő, engedélyezési és kiviteli tervezésénél, megvalósulásánál technológus főtervezőként működött közre. Feladatai között szerepelt környezeti hatástanulmányok, uniós és egyéb pályázatok összeállítása, műszaki irányelvek, szabadalmak kidolgozása, kutatás-fejlesztési munkák irányítása is. Speciális szakterülete a membrán bioreaktoros szennyvíztisztítás,

a ko-fermentációs iszaprothasztás és a gázmotoros biogázhasznosítás.

Mintegy 100 publikációval, előadással járult hozzá a szakmai ismeretek bővítéséhez.

A MaSzeSz alapító tagja, az MHT csatornázási és szennyvíztisztítási szakosztályának vezetőségi tagja, a Magyar Tudományos Akadémia Vízellátási és Csatornázási Bizottságának a tagja, a Budapesti és Pest Vármegyei Mérnöki Kamara Vízgazdálkodási és Vízépítési Tagozatának tagja

Eddigi munkásságát Pro Aqua, Lampl Hugó, Bogdánfy Ödön, Sajó Elemér, Vásárhelyi Pál, Kvassay Jenő díj valamint MHT Nívódíj, MaSzeSz Aranyfedlap díj, Budakeszi építészeti értékeiért díj adományozásával ismerték el.

 IRODALOMJEGYZÉK

# AZ EKR RENDSZERBEN REJLŐ VÍZMŰVES LEHETŐSÉGEK

Hogyan tegyünk szert extra profitra az üzemeltetésben?

Bartók Pál, Fővárosi Vízművek.

## 1. ÖSSZEFOGLALÓ

Az Energiahatékonysági Kötelezettségi Rendszer több, mint 3 éve hazánkban is támogatja az energiamegtakarítást célzó intézkedéseket. A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) felületére mostanra már több, mint 5500 db intézkedés került feltöltésre együttesen 8 PJ (!) mértéket meghaladó volumenben. A következő fejezetek az EKR rendszer működését foglalják össze a Vízmű, mint kedvezményezett szempontjából. A bemutatást már megvalósult és támogatott projekt rövid összefoglalása és néhány jellemző terület felvillantása követi abban a reményben, hogy a víziközmű ágazat is kihasználja az energetikai szakpolitikai támogatás lehetőségét.

Az EKR (minden feltétel teljesülése esetén, persze) új pénzforrás, amit érdemes kihasználni!

## 2. ENERGIAHATÉKONYSÁGI KÖTELEZETTSÉGI RENDSZER

„Minden tagállam energiahatékonysági kötelezettségi rendszert hoz létre.”

Az EU korábbi, több tagállamban bevált gyakorlatát alkalmazva 2021. januártól Magyarországon is bevezetésre került az Energiahatékonysági Kötelezettségi Rendszer (EKR), amelynek elsődleges célja az ország vállalt

energiahatékonyság-javítási céljainak teljesítése a piaci szereplők nagyobb arányú mobilizálásával. A rendszer Kötelezettjei az energia kereskedő (villamosenergia, földgáz, üzemanyag) cégek, ezek éves forgalmának arányában, jogszabályban megadott mértékű kötelezettséget teljesítenek – pénzben vagy Hitelesített Energiamegtakarítás (HEM) formájában.

A víziközmű ágazat tagjai ebben a rendszerben jellemzően Kedvezményezettnek lehetnek, vagyis a szektorban – igazoltan a szakpolitikai intézkedéshez köthető – energiahatékonyság-javító intézkedéseink elszámolhatóak lehetnek. Az EKR rendszer Kötelezettjei irányából tehát utólagos finanszírozáshoz juthatnak az ágazat egyes intézkedései. A következő fejezetekben a szakpolitikai intézkedést végfelhasználói oldalról, vagyis a címnek megfelelően vízműves szemszögből mutatjuk be, elemezve a felhasználás feltételeit és lehetőségeit is. Hiszünk abban, hogy a víziközmű ágazat hasznos forrása lehet a 2030-ig biztosan elérhető EKR.

## 3. KULCSFOGALMAK –

### A KEDVEZMÉNYEZETT SZEMPONTJÁBÓL

„A kötelezetteknek olyan intézkedéseket kell végrehajtaniuk, amelyek a végfelhasználó oldalán igazolt energiamegtakarítást eredményeznek.

A következőkben a rendszer megértéséhez alapvetően szükséges kulcsfogalmakat soroltuk fel és fejtettük ki, hogy a jogszabályi megfogalmazásokat gyakorlati értelmezés egészítse ki.

### 3.1. Egyéni fellépés

Az energiahatékonysági törvény (5.) 1. §. definíciói közül egy fogalmat kiemeltünk annak érdekében, hogy a jogszabály értelmezése követhető legyen:

„egyéni fellépés: olyan energiahatékonysági beruházás, energiahatékonyságot javító intézkedés vagy ezek kombinációja, amely ellenőrizhető és mérhető vagy megbecsülhető energiahatékonysági javulást eredményez, és arra egy szakpolitikai intézkedés szerinti lényeges hozzájárulás nyomán került sor;”

Az EKR rendszerben értékesíteni „egyéni fellépés” alapján Hitelesített Energiamegtakarítást (HEM) lehet. Az idézett definíció azért is kiemelt fontosságú, mert a legfontosabb feltételeket egyetlen mondatban foglalja össze. Az egyes, aláhúzással jelölt gondolatokat ezért érdemes megfontolni:

- energiahatékonysági beruházás, energiahatékonyságot javító intézkedés vagy ezek kombinációja
- A definíció szerint nem csak beruházások jöhetnek projektként szóba. Automatizálás, szabályozás fejlesztés, nyomásmenedzsment vagy egyéb intézkedések egészíthetik ki a tipikus „cseréljük le korszerűbbre”-típusú egyéni fellépéseket. A későbbi hitelesítési folyamat szempontjából viszont lényeges, hogy jól definiálható intézkedés történjék.
- ellenőrizhető és mérhető vagy megbecsülhető energiahatékonysági javulást eredményez

Egyértelműen ki kell tudnunk mutatni az elért megtakarítást. A keletkező HEM értékét az egyedi energetikai audit (vagy katalógusjegyzék szerinti számítás) által meghatározott, [GJ/év] dimenziójú hatékonyságnövelés adja. Ennek követhető, igazolható és védhető kiszámítása központi kérdés.

arra egy szakpolitikai intézkedés szerinti lényeges hozzájárulás nyomán került sor. Az EKR célja, hogy plusz megtakarítást hozzon. A jogalkotó célja, hogy a gondos üzemeltetés és körültekintő gazdálkodás során a szakpolitika nélkül is megvalósuló fejlesztéseken felüli megtakarításokat támogasson – összhangban az ország vállalásaival.

### 3.2. HEM

Hitelesített energiamegtakarítás rövid, általánosan használt neve (korábban „fehér bizonyítvány”). A fogalom az előbbieken is többször előkerült már. Az elkészült HEM korlátozottan forgalomképes vagyoni értékű jogot (hiszen csak Kötelezett felé értékesíthető) jelenít meg. Hitelesíteni (és auditálni) a jogosult energetikai auditáló szervezetek tudnak. A MEKH felületére feltöltött, az energiahivatali adatbázisban szereplő HEM-ek tulajdonosa alapvetően az egyéni fellépést megelőzően kötött magállapodásban rögzített „elsődleges jogosult”, vagyis személye a HEM keletkezése előtt definiálásra kerül.

A keletkező vagyoni értékű jog a benne rögzített [GJ/év] dimenziójú megtakarítással arányos értéket képvisel, a MEKH ellenőrző hatóságként mintavételesen ellenőrzi ezeket. Feltárt hiányosságok esetén a jogszabály súlyos szankciókat rögzít, ezáltal kontrollálva a hitelességet.

### 3.3. Lényeges hozzájárulás

Definíció szerint „az alternatív szakpolitikai intézkedés végrehajtása, valamint az energiamegtakarítási kötelezettség teljesítése érdekében kifejtett olyan hatás, amely nélkül a végső felhasználó nem döntött volna az egyéni fellépés megvalósítása mellett” (korábban: „addicionalitás”).

Másik jogszabályi megfogalmazás szerint „A lényeges hozzájárulás keretében kifejtett hatás akkor haladja meg a minimális szintet, ha anélkül a végső felhasználó egyéni fellépés mellett hozott döntése elmaradt volna, azaz a végső felhasználó vagy nem is tervezett volna energiahatékonysági beruházást végrehajtani, vagy a tervezett energiahatékonysági beruházást pénzügyi forrás, vagy technikai segítség hiányában nem tudta volna, vagy csak késedelmesen tudta volna megvalósítani (pl. korai csere).” Vagyis a lényeges hozzájárulás igazolja az Energiahivatal felé, hogy az érintett intézkedés konform Magyarország EU-s vállalásaival és az elért megtakarítás hozzászámolható a szakpolitikai intézkedés eredményeihez.

Fontos, hogy a tényleges intézkedést megelőzően megállapodásban rögzítésre kerüljön a lényeges hozzájárulás ténye, módja és mértéke – enélkül az intézkedés nem lesz hitelesíthető.

### 3.4. Katalógusjegyzék

Katalógusjegyzéknek, vagy sztenderd intézkedésjegyzéknek nevezzük a 17/2020 MEKH rendelet 1. mellékletét. Célja, hogy egységes módszertant adjon tipizált intézkedések elszámolásához, illetve ezáltal kiváltsa az egyedi energetikai auditálás kötelezettségét is. A jegyzék egységei (fejezetei) a katalóguslapok. 1-1 katalóguslap konkrét intézkedés feltételein,

az elszámolható energiamegtakarítás pontos kiszámításán és az igazoláshoz szükséges dokumentumokon vezet keresztül. A számítási módszertan egységesített, iparági tapasztalatok alapján egyszerűsített metódusokat tartalmaz. Segítségével egymástól független hitelesítő szervezetek ugyanolyan intézkedéseket ugyanúgy kezelnek – sztenderdizálva és egyszerűsítve az elszámolást.

Az Energiahivatal információs oldaláról elérhető a dokumentum tartalomjegyzékkel ellátott változata is. Érdemes végiglapozni, hiszen több intézkedési ötletet is meríthetünk belőle!

### 3.5. Minimum követelmény, korai csere

Két fogalom, de összefüggésük miatt értelmezzük párhuzamosan. Közös bennük, hogy a gondos és gazdaságos üzemeltetés során megvalósuló hatékonyságnövelésen felüli, az energetikai szakpolitikai intézkedéshez köthető plusz megtakarítást teszi elszámolhatóvá a jogalkotói szándék Relevanciája azoknál az intézkedéseknél van, ahol meglévő berendezés korszerűbbre cseréjével érünk el energiahatékonyság növekedést.

Korai csere fogalma alatt azt az esetet értjük, amikor egy berendezést, gépet a beépítésekor várható műszaki élettartamának lejárt előtt cserélünk le. A jogszabály szerint a lecserélt és új berendezés hatékonyság különbsége vehető figyelembe a régi berendezés hasznos műszaki élettartamának lejártáig.

A környezettudatos tervezés követelményeit tartalmazó 2009/125/EK irányelv (ökodizájn irányelv) általános, keretjellegű szabályozást tartalmaz, vagyis az Unió területén forgalmazható egyes termékek minimálisan elérendő energiahatékonysága jogszabályban limitált. Meglévő berendezés cseréje esetén, ha van a termékcsoporthoz tartozó ökodizájn

irányelv, a hasznos műszaki élettartam lejárt után az irányelvben rögzített minimumnak megfelelő, vagy ezt meghaladó hatékonyságú terméket tudnánk beépíteni. Ebben az esetben az elszámolható megtakarítás az ökodizájn irányelv jelentette minimum követelményhez képesti többlet. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy ezen intézkedések esetén a ténylegesen elért és az EKR rendszerben elszámolható megtakarítás (olykor jelentősen) eltér egymástól.

#### 4. AZ EKR-BEN TÖRTÉNŐ ELSZÁMOLÁS FOLYAMATA

A rendszer lényege, hogy a kötelezetteknek, olyan programokat, intézkedéseket kell végrehajtaniuk, amelyek a végfelhasználói oldalon igazolt, hitelesített energiamegtakarítást eredményeznek. 1-1 EKR projekt végig vitele adminisztratív oldalról egy jól definiálható folyamat. A következő ábra címszavakban mutatja a főbb lépéseket az előkészítéstől az elszámolásig.

Az egyes folyamatlépések részletesen:

##### 1. Projekt feltárása

A tényleges intézkedést megelőzően a kötelezett, vagy (és talán ez a gyakoribb) energetikai tanácsadó az egyes végfelhasználók energiaigényes folyamatai között lehetséges intézkedést azonosít. A tevékenységet rögzítik és a jogszabályi előírásoknak megfelelően megállapodás születik a lényeges hozzájárulás módjáról, mértékéről és az esetlegesen keletkező HEM elsődleges jogosultjáról.

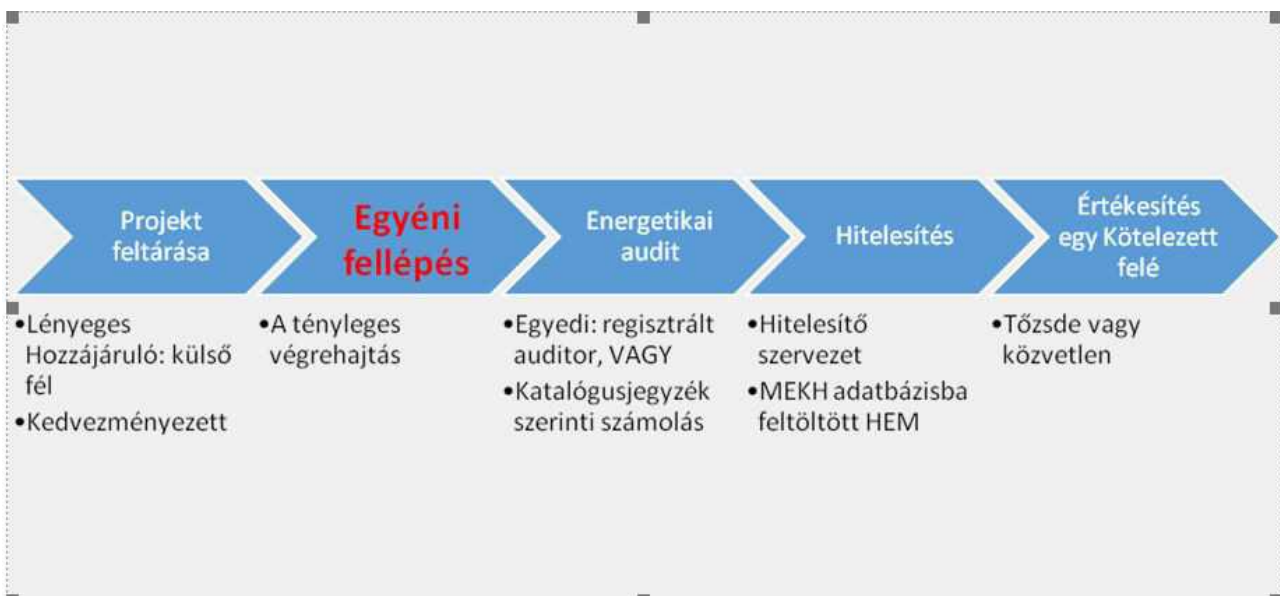
A lényeges hozzájárulás nyomán a végfelhasználó (Kedvezményezett) dönt a javasolt intézkedés megvalósításáról.

##### 2. Egyéni fellépés

Kiemelt színnel jeleníti meg az 1. ábra, ez a pont reprezentálja a ténylegesen bevezetett programot, megvalósított intézkedést vagy végrehajtott beruházást.

##### 3. Energetikai audit

Az intézkedés bevezetését követően az EKR rendszerben elszámolható, [GJ/év]



1. ábra: EKR elszámolás folyamata

dimenziójú megtakarítást meg kell határozni. Emellett pedig a projekt hitelesítéséhez szükséges igazolásokat, dokumentációkat, nyilatkozatokat és szerződéseket be kell gyűjteni. Vagyis mindazt, ami az egyéni fellépés végrehajtását, a ténylegesen elért és elszámolható megtakarítást és egyéb jogszabályi feltételek meglétét igazolja. Energetikai auditálásra a MEKH felületén elérhető névjegyzékben szereplő, regisztrált auditorok jogosultak. Az elkészült auditok főbb eredményeit feltöltik a <https://ekr.mekh.hu/> felületre.

Katalógusjegyzék szerinti intézkedések esetén audit nem szükséges, viszont minden katalóguslap utolsó alfejezete felsorolja, hogy milyen igazolásokra van szükség a továbblépéshez – a kiszámolt megtakarításon felül.

#### **4. Hitelesítés**

Az elkészült egyedi energetikai audit vagy katalógusjegyzék szerinti számítás eredményét független hitelesítő szervezet hitelesíti. A jogosult cégek a MEKH felületén elérhető névjegyzékben felsorolt, regisztrált vállalkozások, akik felelős energetikai auditorral dolgoznak. A végeredmény a <https://ekr.mekh.hu/> felületen elérhető HEM igazolás.

A gyakorlat szempontjából a hitelesítés az elkészült számítások és dokumentációk független validálását jelenti. A hitelesítés végeredménye a HEM.

#### **5. Értékesítés**

A HEM-ek értékesítése valamely kötelezett felé történhet. 2024-től szervezett piacon történhet az adás-vétel, megtartva az egyedi megállapodások lehetőségét is. A tapasztalatok szerint leggyakoribb az értékesítést követően a HEM ellenértékéből utólag rendezni a megelőző tevékenységek ellenértékét.

#### **5. MEGVALÓSULT EKR PROJEKTEK (VÍZVESZTESÉG-CSÖKKENTÉS)**

A Fővárosi Vízművek Zrt ellátási területén, a Sas-hegy XII. kerületi részén ellátott fogyasztói hálózatrész a viszonylag magas éjszakai minimum vízigény mértéke mellett a magas fajlagos energiaigénye (kWh/m<sup>3</sup>) miatt is fókuszba került. A külsős veszteségelemző tevékenység azonosított rejtett hibahelyeket, ennek kapcsán körzetmérések történtek a feltárást, javítást megelőzően, majd a szivárgások megszüntetése után is. A beavatkozás elszámolása megtörtént, 2023 elején a kimutatott 733 GJ/év megtakarítás több, mint 7 millió forintot ért EKR-ben – pilot projektként. Tipikusan vízműves alkalmazásként kiemeltenjő példa az EKR rendszerben elszámolt vízveszteség-csökkentő intézkedés. Előzetes felmérést és fogyasztási profil elemzést (lényeges hozzájárulás) követően a kijelölt területeken körzetmérés, majd akusztikus vízveszteség-elemzés történik – beazonosítva több rejtett elfolyást a nyomás alatti ivóvízhálózaton. A vízmű a jelzett hibákat javítja (egyéni fellépés), majd kontroll mérés következik, ami a tényleges vízveszteség-csökkenés mértékét közvetlenül megállapítja. Az EKR rendszerben az elszámoláshoz szükséges feltételeket egyedi audit foglalja össze, a vízveszteség csökkenést (a kitermeléshez és továbbemeléshez szükséges villamosenergia mennyiség figyelembe vételével) [GJ/év] mértékegységben kifejezhető megtakarítássá átszámolva. Minimum követelmény ebben az esetben nem értelmezhető, a teljes megtakarítás elszámolható. Tapasztalataink szerint az egyes vízveszteség-csökkentő projektek terület nagyságtól, műszaki állapottól és vízellátási sajátosságoktól (pl. energiaigény) függően 100 – 1000 GJ/év nagyságrendűek lehetnek

jellemzően. A másodlagos piac elemzése alapján pedig a HEM-ek értékesítése 5 000 – 20 000 Ft/(GJ/év) között alakult az elmúlt időszakban.

A vízvesztés-csökkentő EKR projektekkel kapcsolatban több tapasztalat is összegyűlt. Természetesen minden vízmű cégnek feladata a vízellátó rendszer állagának megóvása, a keletkezett sérülések javítása. A kockázat- vagy költségelemzésen alapuló rendkívüli vizsgálatok eredményeként feltárt és javított szivárgások viszont az előző fejezetekben leírt „gondos üzemeltetés feletti plusz”-feltételt is teljesíthetik – ennek vizsgálata a hitelesítés feladata. A víziközmű ágazatba viszont az EKR rendszeren keresztül új forrás vonható be amellett, hogy az energiahatékonyság növelésével a fizikai vízvesztés is csökken.

Az elszámoláshoz adatelemzésre, majd (előzetes és kontroll) mérésekre volt szükség. A vízellátás tudatos felügyeletének alapvető elvárása a víz-, és energiaigény mérése, nyomon követése. Véleményünk szerint a sikeres projekteknek addicionálisan (nehezen számszerűsíthető, ám) jelentős szemléletformáló hatása is van, az üzemeltetés tudatosságát illetően.

## 6. TECHNOLÓGIAI ÉS EGYÉB LEHETŐSÉGEK

A teljesség igénye nélkül néhány példa és kiindulási irány felsorolható. Elsősorban azért, hogy ötletekkel szolgáljunk lehetséges EKR projektekhez.

### 6.1 Ivóvíz ellátás

Ivóvízellátás területén magától értetődő a szivattyúcserek megfontolása, hiszen a tevékenység energiaigényének döntő része

a szivattyúzáshoz kapcsolódik. Ivóvízes alkalmazású gépek esetén pedig tapasztalataink szerint az életciklus-költség legnagyobb része a villamosenergia igény. Szivattyúcserek esetén az 547/2012 EU rendelet fogalmaz meg minimum követelményeket, ezeket a piacon kapható, elérhető konstrukciók jellemzően meghaladják (hiszen ez előírás), de jellemzően nem akkora mértékben, hogy az EKR rendszerben érdemes legyen elszámolni. Viszont nem minden szivattyúra vonatkozik minimum követelmény (pl. búvárszivattyúk esetén csak a 4-6" átmérőjű egységekre), illetve a legtöbb esetben a tényleges megtakarítást a gépcserén túl a szivattyúzási rendszer korszerűsítése jelenti.

Szivattyúzási rendszereink energiavesztése összességében villamos, mechanikai és hidraulikai okokra vezethető vissza. Az emelőmagasság szempontjából túlméretezett, vagy „szűk” csőhálózatot töltő szivattyúzás hatásfoka növelhető frekvenciaváltós hajtással.

Az előző fejezetben kifejtett vízvesztés-csökkentési tevékenység szintén visszavezethető energiahatékonyság növelésre.

A legkevésbé közismert, ám megtérülés szempontjából legkedvezőbb lehetőség az automatizálásban, szivattyúzási rend optimalizálásában rejlik lehetőség. Ilyen egyéni fellépések esetén ugyanis általában a bekerülési költség nem jelentős, akár belső erőforrásból (másodlagos költség) is biztosítható lehet. Az EKR elszámolás alapja a kimutatható megtakarítás, így ilyen projektek esetén nem ritkán a bekerülési költséget meghaladó potenciál érvényesíthető. (Nem csak beruházást tudunk elszámolni!)

## 6.2. Szennyvízelvezetés, tisztítás

Szennyvízes szivattyúk esetén az életciklus-költség legjelentősebb tényezője általában nem az energiaigény, hanem a karbantartás. Ennek ellenére a hatékonyabb gépek beépítése alkalmas projekt lehet – itt minimum követelmény jelenleg nincs. Viszont, ha kimutathatóan kevesebb helyszíni munkavégzés (kiszállás) kell 1-1 távoli átemelő telephez, ott a közlekedés energiaigényének számszerűsítése jelenthet elszámolható projektet.

A szennyvíztisztítás energiaigényének több, mint felét a legtöbb hagyományos telepen a levegőztetés jelenti. A légbevezetés optimalizálása, légfúvók automatikus szabályozása még gépcsere nélkül is jelenthet auditálható energia megtakarítást.

Átemelők üzemének összehangolása, időzítése szintén sok esetben lehetőség a hatékonyság növelésére. Fel kell tárnai a beruházást nem, vagy alig igénylő intézkedéseket, hiszen itt az EKR-ből elérhető többlet forrás gyakran több, mint a bekerülési költség.

## 6.3. Épület üzemeltetés, energiaellátás

Az EKR Katalógusjegyzékben található szten-derd intézkedések jelentős része az épületek határoló szerkezeteire és épülettechnikai rendszerek korszerűsítésére vonatkozó intézkedést tartalmaz. Tapasztalataink szerint például a világítás korszerűsítések tipikusan hatékony projektek EKR-szempontról.

Irodaépületeink komfort fűtése és hűtése is gyakran kínál megtakarítási potenciált. Különösen azért, mert energiahatékonysági törekvések elsősorban a technológiát érintik, az épületek komfortjának biztosítása kevésbé kerül fókuszba. Az elmúlt években tapasztalt energiaár változások viszont ráirányították

a figyelmet arra, hogy ezen a területen is jelentős megtakarítási potenciál lehet.

Az energiaellátási rendszerek szintén gyakran esnek fókuszon kívül. Transzformátorok, régi hajtások, sőt a fázisjavítás is lehet hasznos projekt.

## 6.4. Szállítási tevékenység

Szintén kevés hangsúlyt kap az üzemanyag-felhasználás, illetve az ezzel kapcsolatban elérhető megtakarítások. Általában az újabb, korszerűbb gépek vagy járművek nem szignifikánsan képviselnek magasabb energiahatékonyságot az 5-15 évvel ezelőttihez képest. E-autóra váltást az EKR támogat, a tapasztalatok szerint azonban a potenciál nem jelentős. Viszont az útvonalak optimalizálása, a technológiánk automatizálásában, de főképpen a távfelügyeletben rejlő megtakarított kilométerek jól auditálhatóak.

Az EKR katalógusjegyzék számos intézkedést sorol a közlekedési energiafelhasználással kapcsolatban a járműcseréken felül gumi-nyomás beállítással, távmunka ösztönzéssel, szemléletformáló oktatásokkal.

## 7. KÖVETKEZTETÉSEK, TAPASZTALATOK

„Mérd meg, ami mérhető, és tedd mérhetővé, ami nem az.” (Galilei)

A 2022-2023. években tapasztalt extrém energiapiaci változások és a cégek energiagazdálkodásának válasza rávilágítottak, hogy – különösen az épületüzemeltetés terén – jelentős megtakarítási potenciál található. A megnőtt energiaárak miatt több olyan intézkedés is megvalósult, amire korábban nem is gondoltunk. Emellett a víziközmű szolgáltatás közvetlen költségei között az energiaigény aránya magas. Ez a tény is rávilágít arra, hogy a megtakarítási potenciálok feltárása lényeges



tevékenység. Az EU klímacéljai és az ennek nyomán bevezetett energetikai szakpolitikai intézkedések pedig támogatják a hatékonyságnövelést.

A megtakarítási becsléshez általában mérési adatok kellene – hiszen ezzel tud transzparenssé válni az energiafelhasználás. Akár folyamatos adatok, akár ideiglenes mérések segíthetnek az előzetes értékelésben. A hatékony mérés-adatgyűjtés és adatelemzés az üzemeltetés tudatosságát is erősíti amellett, hogy a fejlesztési potenciált számszerűsíti.

Tapasztalataink szerint gyakran jelent problémát az egyes intézkedések feltárása. Olyan tanácsadó cég, amelyik a vízellátás és szennyvízelvezetés/kezelés területén és az EKR-piacon is otthon van, elég kevés létezik Magyarországon. Mindemellett egy külsős felmérés általában a leghasznosabb segítség,

ha a megfelelő auditori szemlélet mellett iparági tapasztalatok is segítik a projektek feltárását. Ilyen módon az elengedhetetlen Lényeges hozzájárulás léte is biztosított, könnyen igazolható.

A feltárt, majd megvalósított intézkedések tényleges megtakarítása természetesen a végfelhasználóé, az EKR elszámolás viszont a megtérülési időt jelentősen csökkentheti. Ökölszabályként alkalmazható, hogy villamosenergia megtakarítás esetén az EKR-bevétel kb. 1 évvel csökkenti a megtérülési időt (50 Ft/kWh átszámolva mintegy 14 000 Ft/GJ értéknek felel meg).

Több alkalommal felmerült már a kérdés: „Mi lesz, ha nem tudunk tovább optimalizálni?” - víziközmű rendszereink üzemeltetése kapcsán ilyen állapot valójában elképzelhetetlennek látszik.

## ▶ HIVATKOZÁSJEGYZÉK

### A SZERZŐRŐL:



**Bartók Pál** 2001 óta üzemirányító mérnökként követi a Fővárosi Vízművek ivóvízellátó tevékenységét. Gépészmérnök és energetikai auditor. Az üzemeltetés hatékonyságának nyomon követése és fejlesztése mellett a Társaság nemzetközi tanácsadó projektjeiben is veszteségfeltárással, energiagazdálkodással foglalkozik. Részt vett az ISO50001 (Energiagazdálkodási Irányítási Rendszer) bevezetésében és működtetésében.

# IVÓVÍZBIZTONSÁGI TERVEZÉSI TAPASZTALATOK A KÖZÖSSÉGI IVÓVÍZELLÁTÁST BIZTOSÍTÓ SAJÁT CÉLÚ IVÓVÍZMŰVEKBEN

**Gaál Zoltánné**, Scarabeus Környezetgazdálkodási Kft.  
szakterület vezető, okl. vegyészmérnök

A vízbiztonsági tervezéssel összefüggő üzemeltetési kötelezettségek jogszabályi előírásaként az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló, a 65/2009. (III. 31.) Korm. rendelettel módosított 201/2001. (X. 25.) kormányrendelet 4.§ (6) – (9) szakaszaiban és a 10.§ (13) szakaszában először 2009-ben jelentek meg.

2013 végén, a 430/2013. (XI. 15.) Korm. rendelet módosította a 201/2001. (X. 25.) kormányrendeletet. A módosítások következtében a vízbiztonsági tervezésre kötelezettek körét kibővítették az összes, a rendelet hatálya alá tartozó vízellátó rendszerre, másrészt a jogszabályban határozták meg a vízbiztonsági tervek tartalmi követelményeit is.

Ekkor jelent meg országosan az az igény, és egyben feladat, hogy a NEM KÖZÜZEMI vízellátó rendszerek vízbiztonsági terveit is el kell készíteni.

Időközben a98/83/EK Ivóvíz Irányelv az ivóvízminőség-felügyelet és az egészségügyi szempontú értékelés szempontjából elavulttá vált, emiatt szükséges volt teljes átdolgozása. Az Európai Parlament és a Tanács 2020. december 22-én fogadta el az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről szóló 2020/2184 Irányelvét, melynek tagállami átültetésére viszonylag rövid határidő állt rendelkezésre, de 2023. elején hatályba lépett az új magyar

jogszabály. Ezzel egyidőben szükségessé vált egyéb, kapcsolódó jogszabályok módosítása is, amely következtében egyes üzemeltetők számára további – korábban rájuk nem vonatkozó – előírások teljesítése új feladatként jelent meg.

Az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet szerint:

ivóvízbiztonság: az ivóvízfogyasztáshoz, illetve -használathoz kapcsolódó, ivóvíznyerésre szolgáló, ivóvízkezelő és ellátó rendszerben, házi vízelosztó rendszerben és vízvételre szolgáló helyeken elérhető legkisebb egészségkockázatot jelentő minőségi és működési jellemző.

A rendelet szerinti, kötelezettséget megállapító előírás az alábbi:

7. § (1) Az ivóvízszolgáltatónak a fogyasztók számára évi átlagban 10 m<sup>3</sup>/nap mennyiség-nél több vizet szolgáltató vagy 50 főt meghaladó számú fogyasztót ellátó ivóvízellátó rendszerre, valamint 10 m<sup>3</sup>/nap mennyiségnél több vizet szolgáltató vagy 50 főt meghaladó számú fogyasztót ellátó közösségi ellátást biztosító saját célú ivóvízműre vonatkozóan a kockázatértékelési és kockázatkezelési rendszerét ivóvízbiztonsági tervben kell rögzítenie. Az ivóvízbiztonsági terv részét képezik a 6. §

szerinti kockázatértékelés és kockázatkezelés eredményei.

A vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról szóló 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet egyes meghatározásai is változtak a 2023. január 12-i módosítást követően:

saját célú ivóvízmű: víztermelő létesítmény, a hozzá tartozó gépészet és a csatlakozó-, házi ivóvízhálózat, illetve a víztisztítási feladatokat ellátó vízilétesítmény vagy víztisztító berendezés, amely a víziközmű-szolgáltatásról szóló törvény szerint nem minősül víziközműnek, és amely lehet

a) magán ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízmű: házi ivóvízigényt kiszolgáló vízilétesítmény, amely egy háztartás ingatlanon belüli legfeljebb 500 m<sup>3</sup>/év ivóvízigényét fedezi,

b) közösségi ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízmű: közösségi ivóvízigényt kiszolgáló vízilétesítmény, ideértve a vizet kereskedelmi, szolgáltatási, közszolgáltatási célból biztosító, vagy a helyi közösség ivóvízigényét kiszolgáló vízilétesítményeket, illetve egyéb ivóvízigényt kiszolgáló vízilétesítményeket, ideértve a munkavégzéshez kapcsolódó tevékenységet végző létesítményeket, amelyek egyedi ellátást valósítanak meg egy vagy több ingatlanon.

A közcélú ivóvízművek, valamint a közcélú szennyvízelvezető és -tisztító művek üzemeltetése során teljesítendő vízügyi és vízvédelmi szakmai követelményekről, vizsgálatok köréről, valamint adatszolgáltatás tartalmáról szóló 6/2016. (V. 12.) BM rendelet előírásai is módosultak 2023. 01. 12-től. A módosítások következtében a BM rendelet előírása gyakorlatilag teljes körűen vonatkoznak a közösségi ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízművekre – néhány kivételtől eltekintve.

1. § (2) Az (1) bekezdés szerinti közösségi ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízművek esetében nem kell alkalmazni a 3. § (1) bekezdés c) és f) pontját, a 4. § (2) bekezdését és a 7. § (2) bekezdés c) pontját.

A módosítás következtében – leegyszerűsítve – a közösségi ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízműveknek is el kell végezni a víztermelő kutaknál előírt műszaki és vízminőségi vizsgálatokat, és 2025. január 12-ig el kell készíteni a vízellátó rendszerükre vonatkozó üzemeltetési szabályzatot.

A Scarabeus Környezetgazdálkodási Kft. eddigi tapasztalatai alapján sem az üzemeltetőknek, sem a felügyeletet végző hatóságoknak nem lesz egyszerű a jogszabályi előírások végrehajtása, ill. betartatása a közösségi ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízművek esetében.

2017 óta összesen 35 vízbiztonsági tervkészítéssel a Scarabeus Kft. közösségi ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízművek részére. Ezek közül 18 állami fenntartású intézmény, 17 cég magán vállalkozás részére biztosítja az ivóvizet. A vízellátó rendszerek mérete, műszaki állapota, technológiai egyszerűsége, és/vagy összetettsége széles tartományt ölel fel.

Az állami intézmények között van szociális intézmény (jellemzően bentlakásos, külterületen lévő idősek vagy fogyatékosok otthona), egészségügyi intézmény (nagyobb kórház, de kisebb külterületi pszichiátria), oktatás (kollégium, egyetemi kampusz), MÁV vasútállomás, rendészet (határátkelő helyek, büntetés-végrehajtás), és kutatás-fejlesztés vagy egyéb gyártási tevékenység (külterületi zárt telephelyek). A vállalkozások között szállodák, ipari létesítmények és nagyobb élelmiszer-elállító üzemek is voltak.

A 35 ivóvízellátó rendszer több mint 15.500 fő állandó, vagy időszakos fogyasztó ivóvíz



ellátását biztosítja a szociális, ill. ivóvíz felhasználás szempontjából figyelembe vett adatok alapján.

A vízellátó rendszerek kiépített kapacitását a mellékelt, 1. sz. ábra szemlélteti:

A kiépített kapacitások általában túlméretezettek, jellemzően a kisebb rendszereknél. Méretől függetlenül ezeknél a rendszereknél gyakori a szakaszos üzem mód is, ami általában éjszakai minimális vagy zéró fogyasztással, illetve hétvégi üzemszünettel jár együtt. Ezek következtében vízbiztonsági szempontból jelentős kockázati tényező a vizek pangása, és az ebből eredő vízminőség romlás is.

Ivóvízbiztonsági szempontból meghatározó tényező az igénybe vett vízbázis, és az abból kitermelt víz minősége, továbbá a rendelkezésre álló ivóvíz források megléte, vagy hiánya. A vizsgált 35 rendszer esetében általában nehéz volt a víztermelő kutak által megcsapolt vízadók minősítése, mivel ezeknél a vízbázisoknál soha nem készült diagnosztika vizsgálat, legtöbb esetben hidrodinamikai

vizsgálat sem a kutak fúrása óta. A gyakorlatban a kutak vízföldtan naplója adott információt úgy, hogy sok esetben nagyon régen létesített kutakról volt szó. A vízbázisok és vízkivételek értékelését a meglévő kútfúrési adatok (ha volt), a környező közüzemi vízbázisok adatai, valamint egyéb környezeti információk alapján lehetett elvégezni. A vizsgált ivóvízbázisok sérülékenységi szerinti

megoszlását mutatja a 2. sz. ábra.

Bár 23 esetben a vízbázist védettnek minősítettük, de sok esetben az is megállapítható volt a helyszíni szemlén, hogy a vízbázisra közvetlen veszélyt jelenthet a helytelenül kialakított és használt víztermelő kút. Az 1. sz. képen is egy ilyen kút mutatunk be. A kb. 3 m mély aknában lévő kútfej vízben áll, körbe deszkázták, hogy meg lehessen közelíteni, és időnként klórmésszel körbe is szórták, mert évtizedek óta így csinálták.

(Talán azóta valamit javítottak, módosítottak).





A biztonságos vízellátás érdekében minden esetben felmerült, hogy van-e közüzemi rendszerről vízátvételi lehetőség. A 35 vízellátó rendszer közül 19 esetében erre nincs mód, 16 azonban közüzemi vízátvételi lehetőséggel rendelkezik, ill. vesz is át ivóvizet. Vízátvétel esetén is azonban igyekeznek ennek mennyiségét minimalizálni, mivel igen drága, nem költséghatékony – még akkor sem, ha a saját vizet kezelni kell. Ami ennél érdekesebb, és több kérdést is felvet, amikor a saját célú ivóvízművek lakossági ellátást – kvázi közüzemi szolgáltatást – is biztosítanak. Bár ilyen irányú kötelezettségük nincs az érintett

rendszerek üzemeltetőinek, mégis évtizedes hagyomány útján ez a „feladat” rajtuk maradt – sok esetben költségtérítés nélkül úgy, hogy hatósági és önkormányzati segítséget sem kapnak.

A vizsgált vízellátó rendszerek többségében van valamilyen vízkezelés, ezt mutatja be a 3. sz. ábra.

21 vízkezelésből 8 esetben törésponti klórozás történik.

25 vízellátó rendszerben történik valamilyen fertőtlenítőszer/oxidálószer adagolás, ebből 17 esetben nátrium-hipokloritot, 4 esetben klórgázt, 3 esetben egyéb fertőtlenítési eljárást (DEWASIL; klór-dioxid UV) alkalmaznak – néhány rendszer esetében ezek kombinációja is előfordul.

Nyilvánvalóan a legtöbb kritikus kockázatot a vízkezelések során állapítottuk meg. Sokszor az egyszer beállított technológia hosszú időn keresztül felügyelet nélkül üzemel. Technológiai vizsgálatok nincsenek, a kutak vízminőségi vizsgálata is ritka – csupán a minimális végponti vízminőségi ellenőrzések történnek meg. Ezek is sokszor hiányosak, aminek egyik oka, hogy legtöbb esetben a szerződött vizsgáló laboratórium határozza meg a vizsgálandó paraméterek



körét és gyakoriságát – ami nem mindig fedi a jogszabályban előírtakat. Jellemzően sok esetben az aktív klórformák üzemi vizsgálata elmarad, a trihalo-metánok vizsgálat ritka, mint a fehér holló, és nem gyakorlat az sem, hogy a bakteriológiai vizsgálat része legyen a fertőtlenítőszer maradék vizsgálata.

Az üzemeltetések értékelése során ki kell emelni az emberi tényezőt: ahol van felelős vezető, és az üzemeltetéssel megbízott felelős munkavállaló, ott jó állapotot találtunk. Elsősorban az élelmiszer előállítóknál, ill. ahol a gyártási minőségbiztosítás része a vízbiztonság.

A vállalkozások esetében általánosan megállapítható, hogy nagyobb erőfeszítéseket tesznek a jogszabályi előírások teljesítésére. A szervezetben van műszaki állomány, akik alkalmasak az üzemeltetési feladatok végrehajtására. Vízjogi engedélyek rendelkezésre állnak, és valamilyen szintű üzemeltetési szabályzat is van. Új létesítményeknél magas szintű automatizálás, az elérhető legjobb technikák alkalmazása – közüzemi rendszerek által is megirigyelhető nagy jó állapottal is találkoztunk. (Természetesen elhanyagolt állapotra is volt példa, de a nagy cégeknél minden területen a magas színvonal a műszaki vezetés részéről az elvárás.) Az állami intézmények esetében fordított a kép: kevesebb a jó állapotú rendszer, és több a már felújításra szoruló. Találkoztunk régi, műszakilag leromlott létesítményekkel is. Sokszor nincs műszaki állomány, felelős üzemeltető, külső vállalkozások végeznek üzemeltetési feladatokat. Hiányos a belső felügyelet, és a laboratóriumi vizsgálatok is sokszor elmaradnak. Legtöbb esetben hiányzik az üzemeltetési szabályzat, alapvető munkautasítás sincs, ilyenkor az üzemeltetés szájhagyomány útján történik (2. sz. kép). Az aktuális vízjogi engedélyek is hiányoznak, vagy hiányosak.



Általánosan minden rendszer esetében megállapítható, hogy a lehetőségekhez képest (humán erőforrás, anyagi keret) mindenki felelősen törekszik a jó üzemeltetésre. A rendszerek felelősei igyekeznek a hatóságokkal jó kapcsolatot kialakítani, mert segítséget is onnan remélnék. Számos üzemeltetési feladat megoldásával külső vállalkozót bíznak meg (karbantartás, hibaelhárítás, vízvizsgálat, dokumentációkészítés.), aminek hosszú távú következménye, hogy saját rendszerüket csak felületesen ismerik. A folyamatos felügyelet a kisebb rendszereknél így sem biztosított, viszont a kockázatértékelések szerint a kockázatok mértéke nem a vízellátó rendszerek méretétől, hanem azok összetettségétől függenek.

A fentiekben ismertetett állapot miatt a közösségi ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízművek számára a következő időszakban nagy kihívást fog jelenteni az új jogszabályi előírások teljesítése, viszont vízbiztonsági szempontból mindenképpen jogos elvárás, hogy ezeket a rendszereket is szakszerűen üzemeltessék.

# SZERVETLEN ARZÉNFORMÁK ELVÁLASZTÁS-TECHNIKÁI: MÓDSZEREK ÉS GYAKORLATI ALKALMAZÁSUK SZEREPE AZ IVÓVÍZKEZELÉSBEN

Biró Barbara<sup>1</sup>, Rácz András János<sup>1</sup>

1 Debreceni vízmű Zrt., 4025 Debrecen, Hatvan utca 12-14.

## TÉMAFELVETÉS

„Az arzén a földkéregben gyakran megtalálható elem, talán az egyetlen olyan ivóvízben világszerte széles körben előforduló természetes eredetű anyag, amelynek mérgező hatása évezredek óta ismert. Az ivóvízben a geokémiai eredetű arzén minden földrészen előfordul. Tipikus koncentrációja a felszíni vizekben általában 1-2 µg/L vagy az alatt van. Ugyanakkor a felszín alatti vizek egyes területeken és bizonyos rétegekben ennél sokkal nagyobb, akár 5-10 mg/L koncentrációban is tartalmazhatják.”

„A WHO Nemzetközi Ivóvíz Szabványa 1958-ban az arzén legnagyobb megengedhető koncentrációját 0,2 mg/L-ben (200 µg/liter) jelölte meg, majd 1963-ban ezt 50 µg/L-re csökkentette, amelyet átmeneti felső határértékként az 1971. évi „Szabványban” is fenntartottak. Ugyanez az 50 µg/L határérték jelent meg a WHO Ivóvízminőségi Irányelv 1984-ben kiadott 1. kötetében is. Az Irányelv 1993. évi 2. kiadása jelölte meg először a humán rákkeltésre vonatkozó aggályok alapján ideiglenes határértékként a 10 µg/litert.”

„Az Európai Unió az 1998-ban elfogadott 98/83/EK Irányelvben (az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről) átvette a WHO ajánlását, így az arzén 10 µg/L-es határértéke

2003. december 25-ei hatállyal minden tagállamra kötelező.”

„Magyarországon az arzén jelenlétéről ivóvízeinkben sokáig alig rendelkezünk ismeretekkel, és az arzén nem is szerepelt az akkori ivóvíz-minőségi szabványban. A szennyezés forrásának keresésére végzett kutatások meglepő eredményei alapján 1981-ben a közüzemivízművekkörében országos felmérés kezdődött. Ekkorkiderült, hogy több mint 400.000 ember fogyaszt magas arzéntartalmú ivóvizet. 1983-ban kezdődött meg az első arzénmentesítési program, amelynek eredményeképpen 1998-ra elérték, hogy a közüzemi vízellátásban részesülők szinte teljes mértékben az akkor hatályos 50 µg/L határértéknek megfelelő arzéntartalmú ivóvizet kapjanak. Ugyanebben az évben jelent meg a fentebb említett Európai Irányelv, ami előrevetítette a további beavatkozások szükségességét. A határérték ötödére csökkenése az óriási erőfeszítések árán elért eredmények ellenére is a határérték feletti arzéntartalmú ivóvizet fogyasztó népesség jelentős növekedését eredményezte. Az Ivóvízminőség-javító Program előrehaladásának köszönhetően 10 µg/L feletti arzén koncentrációjú ivóvízzel ellátott települések száma folyamatosan csökkent. Átmeneti engedély alapján 2012. december

végéig 343 település térhetett el a határértéktől. 2013-tól már mindenhol egységesen a 10 µg/l a határérték. A 2007 óta zajló Ivóvízminőség-javító Program keretében az arzén, a bór, a fluorid, a nitrit vagy az ammónium miatt kifogásolt ivóvízű települések a KEOP 1.3.0 és 7.1, majd 2016-tól a KEHOP 2.1 keretrendszerben nyújthattak be pályázatot. Az Ivóvízminőség-javító Program jelentős előrelépést eredményezett a szolgáltatott ivóvíz minőségében. A pályázatok előrehaladásával és befejezésével 2016–2017-ben az érintett települések és lakosok száma jelentősen csökkent. 2019-re a korábban arzén, bór vagy fluorid miatt kifogásolt ivóvízű települések többségén befejeződött az ivóvízminőség-javító beruházás. 2020–2021-ben már csak 9 olyan település, illetve településrész volt, ahol az arzén koncentrációja meghaladta a határértéket[1, 2].”

Számos arzénmentesítési megoldás ismert a vízkezelési technológiákat érintően, ezek közül az általam vizsgált rendszerek esetén csapadékképző/koagulációs eljárásokat alkalmaznak az arzéntartalom határérték alá történő csökkentésére.

A gyakorlatban az arzénmentesítési folyamathoz felhasznált oxidálószer és koaguláns mennyisége az összes arzéntartalomra kerül meghatározásra, azonban tudjuk, hogy az ivóvízbázisul szolgáló rétegvizekben összetett ionos rendszert alkotnak a különböző redukált és esetenként oxidált formájú főként szerves arzén módosulatok.

Diplomamunkámban vizsgáltam az arzenit (As(III)) és arzenát (As(V)) formák egymáshoz viszonyított arányának változását az ivóvízkezelés során, ezen arányok meghatározását követően a kezelési technológiákban

alkalmazott vegyszerek mennyiségének optimalizációs lehetőségeit, illetve célom volt egy, a szerves formák vizsgálatára általánosan alkalmazható módszertan kialakítása. A szerves formák vizsgálata, és annak meghatározása, hogy azon belül az oxidált vagy redukált forma milyen arányban található a szolgáltatott ivóvízben gyorsabb beavatkozási lehetőséget ad olyan esetekben, amikor – ha csak minimálisan is – az arzén értéke a hálózatra kiadott vízben vagy hálózati vizsgálati ponton magasabb lesz, mint a jogszabályi határérték. Ilyen esetekben a technológiákban használt vegyszerek beállításainak gyors korrigálásával a domináns formának megfelelő beavatkozásra van lehetőség, mellyel a lakosság terhelése időben és mennyiségben is minimálisra redukálható

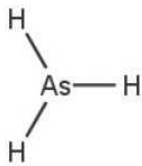
## VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

„Az arzén különböző vegyületekben fordul elő a környezetben. A meghatározás módjának kiválasztásakor elsősorban figyelembe kell venni, hogy összes arzéntartalmat szeretnénk meghatározni, vagy valamelyik vegyületforma meghatározására (speciáció-analízis) van szükség.”

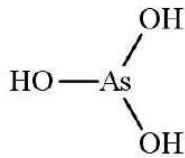
„Kémiai elemformának nevezzük egy meghatározott elem olyan speciális formáját, amit az izotóp-összetétel, az ionos vagy oxidációs állapot és/vagy a komplex- vagy molekulaszerkezet határoz meg. A speciáció analízis egy elem több kémiai módosulatának azonosítására és/vagy mérésére irányuló analitikai tevékenység. Egy rendszerben egy adott elem megoszlását kémiai módosulatai között az elem speciációjának hívjuk.

A speciációs analitikai szemlélet abból a következtetésből indult ki, hogy egy elem kémiai tulajdonsága eltérő lehet különböző kémiai

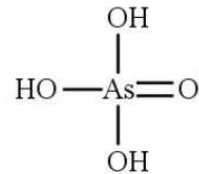




a.) arzin v. arzénhidrid  
(AsH<sub>3</sub>)



b.) arzénessav  
(H<sub>3</sub>AsO<sub>3</sub>)



c.) arzénsav  
(H<sub>3</sub>AsO<sub>4</sub>)

### 1. ábra: Szervetlen arzén vegyületek

környezetben, vagyis biológiai és kémiai tulajdonságai erősen függenek egy adott molekula kémiai szerkezetétől vagy oxidációs állapotától. Ebből következik, hogy az arzénmentesítés optimalizálásához nem elegendő meghatározni a víz összes As-tartalmát, hanem azt is érdemes vizsgálni, hogy milyen kémiai formában van jelen az adott mátrixban.”

„Amennyiben összes arzéntartalom meghatározása szükséges, akkor leggyakrabban a lángspektroszkópia csoportjába tartozó atomabszorpciós spektrometriát alkalmazzák. A lángspektroszkópiához azok az analitikai módszerek tartoznak, melyek a lángban (plazmában) keletkező szabad atomok által kibocsátott vagy elnyelt sugárzó energia mérésén alapulnak. Ezek az eljárások két csoportra bonthatók: emissziós (emissziós lángspektrometria, FES és atomfluoreszcencia spektrometria, AFS) és abszorpciós eljárásokra (atomabszorpciós spektrometria, AAS) [3].” Magyarországon az ivóvíz mintákból az MSZ 1484-3:2006 szabvány szerint grafitekencés technikával (ETA-AAS) határozzák meg az összes arzéntartalmat (mérés határ 2 mg/l), így az általam vizsgált minták esetében is ezt a módszert alkalmaztam. Speciáció-analízis esetén a mintabevitel, az atomizálás, a detektálás stb. módjától függően nagyon sokféle

kombinált eljárás létezik. Az arzén különböző vegyületformáinak szétválasztására alkalmazták például a nagyteljesítményű folyadék kromatográfiát (HPLC) vagy a kapilláris elektroforézist (CE). Detektorként alkalmazható többek között UV-detektor vagy induktív csatolású plazma-tömegspektrométer (ICP-MS). ICP-MS esetén a kimutatási határ 1 µg/L, amennyiben azonban ezt a technikát pl. hidridképzéssel kombináljuk, úgy már 0,2 ng/l arzéntartalmat is ki lehet mutatni vizekben.

#### Célkitűzések

A Debreceni Vízmű Zrt. szolgáltatási területéhez tartozó, arzénmentesítést is végző vízkezelő technológiák javarészt kémiai – oxidációs és koagulációs – folyamatokon alapuló eltávolítást végeznek. Éves szinten számos arzén vizsgálat történik a szolgáltatott vízből. A telepet elhagyó víz vizsgálata a szolgáltatott víz mennyiségének függvényében hetente többször, kéthetente vagy havonta, illetve a kijelölt hálózati pontok vizsgálata pedig előre meghatározott ütemterv szerint történik, térben és időben reprezentatív módon elosztva.

Ismert dolog, hogy a tervezett karbantartások és rendszeres ellenőrző vizsgálatok mellett is előfordulhat, hogy bizonyos paraméterekben, így az arzén koncentrációjában is, határérték túllépés történik. Ilyen esetekben részletes

GF_AAS működési program			
	Hőmérséklet [°C]	Idő [sec]	Felfűtési sebesség
Előfűtés	70	-	-
Szárítás I.	105	50	10 °C/sec
Szárítás II.	180	-	5°C/sec
Hamvasztás	1150	20	150°C/sec
Atomizálás	2350	3	-
Tisztítás	2500	3	-

2. ábra: Atomabszorpciós spektroszkóp működési programja

kivizsgálásra van szükség, hogy a határérték túllépés eredetét meg tudjuk szüntetni.

Mivel az általános rend szerint a vizsgálatok során az összes arzéntartalom kerül meghatározásra, ezért, ha a beadagolt vegyszerek mennyiségének módosítására van szükség, nincsen egzakt módszer arra, hogy az oxidálószer vagy a koagulálószer mennyiségét kell-e változtatni.

A fentieket figyelembe véve ezért azt tűztem ki célul, hogy kidolgozok egy olyan mérési módszert, amelyhez nem szükséges speciális és költséges műszerkapcsolásokat alkalmazni, hanem a gyakorlatban egyébként is alkalmazott atomabszorpciós spektroszkópiás vizsgálattal meghatározhatóvá tehetjük az arzenit és arzenát egymáshoz viszonyított arányát.

Amennyiben ezek aránya meghatározásra kerül egy határértéket meghaladó minta esetében, úgy célzottan lehet a megoldásra fókuszálni. Az arzenit és arzenát arányok ismeretében olyan módon optimalizálhatók az oxidálószer és koagulálószer mennyiségek, hogy azok ne okozzanak az egyéb paraméterek esetén – például

a kálium-permanganát adagolás esetén mangán vagy a vas(III)klorid adagolás esetén vas – túllépést a szolgáltatott ivóvízben.

## EREDMÉNYEK, KIÉRTÉKELÉS

Vizsgálataimhoz a ThermoScientific CE 3500 (Thermo MK II-M6 GF-AAS) típusú atomabszorpciós spektroszkópot használtam. A működési programját

az alábbi táblázat foglalja össze:

Mátrix módosító oldat: 6,5 µl – 100 mg/L-es Ni standard oldatból, ami megfelel 20 µg Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-nak. Ez az oldatot adagoljuk 20 µl mintatérfogathoz.

Mérőgörbe felvétele: 0; 1; 5; 10; 20; 50 µg/L koncentrációjú oldatokkal (QC 10 µg/L standard oldatból készült oldatsorozat).

Mérési bizonytalanság: 1 – 25 µg/L tartományban ± 20 %; >25 µg/L esetén ± 15 %.

Küvetta: normál, bevonatolt grafitküvetta.

As(V) oldatok:

A cél egy törzsoldatoldat készítése volt, melyhez a Supelco 1.19773.0100. katalógusszámú 'Arsenic Standard Solution' oldatot használtam.



1. kép: Atomabszorpciós spektrofotométer

Lot. szám: HC16350373. A NIST standard referencia anyagára visszavezethető 0,5 mol/L-es  $\text{HNO}_3$ - $\text{AsH}_3\text{AsO}_4$  oldat 1000 mg/L As koncentrációval. A hígításhoz minden esetben ultratiszta vizet használtam. Az oldatot barna üvegben, hűtőben tároltam. Az eredeti 1000 mg/L-es oldatból hígítással készítettem egy 10 mg/L-es törzsoldatot, amiből további hígítással készítettem az 50  $\mu\text{g/L}$ -es standard oldatot.

As(III) oldatok:

Szilárd  $\text{As}_2\text{O}_3$  -ből készítettem 1000 mg/L-es oldatot, majd abból hígítással 10 mg/L-es törzsoldatot, amiből további hígítással készítettem az 50  $\mu\text{g/L}$ -es standard oldatot. A hígításhoz minden esetben ultratiszta vizet használtam. Az oldatot barna üvegben, hűtőben tároltam.

Vizsgálati mintákhoz használt felszerelés:

- ioncserélt víz
- $\text{FeCl}_3$ - oldat 40 m/m%-os (Donauchem Vegyianyag Kereskedelmi Kft.)
- 1 literes mérőlombikok
- mágneses keverő
- vákuumszűrő és 0,45  $\mu\text{m}$ -es membránfilter

Minták tartósítása:

250 ml-es barna üvegekben, 2 ml 10%-os  $\text{HNO}_3$  oldattal.

## Kísérletek

### Előkísérletek

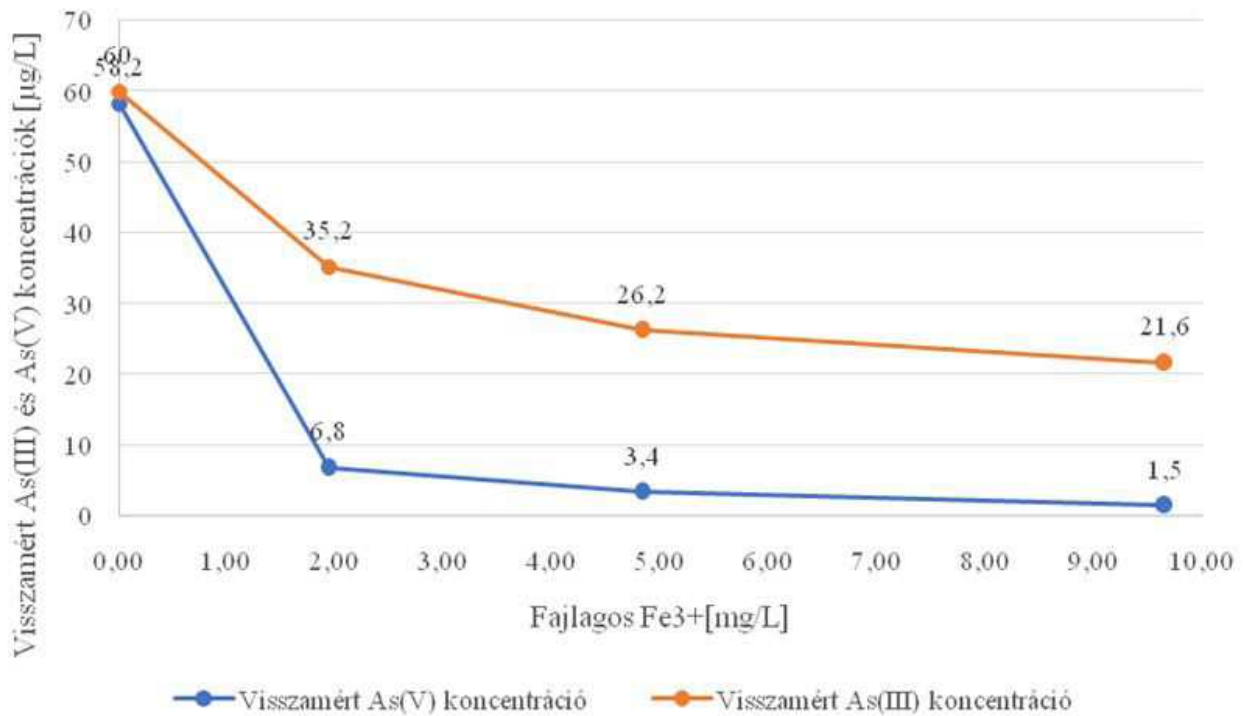
Az első vizsgálati sor célja az volt, hogy meghatározzam a koaguláns –  $\text{FeCl}_3$ -oldat – fajlagos mennyiségét, ami a közel 50  $\mu\text{g/l}$  arzén koncentráció eltávolításához – 10  $\mu\text{g/l}$  koncentráció alá csökkentéséhez – szükséges úgy, hogy az összes arzéntartalom arzénát formában van jelen.

Az irodalmi és tapasztalati adatok alapján a növekvő léptékben adagolt koagulánsnak az arzénát ionokat meg kellett volna kötnie, és nagy mértékben csökkenteni annak koncentrációját a vizsgálati oldatokban. Ezzel szemben a kezdeti koncentráció csökkenést követően stagnáló állapot állt be.

Mivel a minta oldatok ioncserélt vízzel készültek, azért feltételezhető, hogy nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségben proton-akceptor, azaz olyan vegyület, amely a  $\text{H}_3\text{O}^+$  ionokat meg tudja kötni, így a komplex fém-hidroxidos formák létrejötte is akadályoztatott volt. Ennek eredményeképpen az arzén koprecipitációs, illetve adszorpciós megkötése is csak részben történhetett meg.  $\text{Fe}^{3+}$  tartalmú koagulánssal végzett mérések Mivel az ioncserélt vízzel készített minta oldatok esetében nem lehetett általánosan értékelhető összefüggést meghatározni az arzénát koncentráció változására a koagulálószer mennyiségének függvényében, ezért oldatkészítéshez az ioncserélt víz helyett a Debreceni II. számú víztisztító telep szűrtvizét alkalmaztam a további kísérletekben.

A 3. ábra szemlélteti a  $\text{Fe}^{3+}$  tartalmú koaguláns hatását a szervesetlen arzénformákra. Szűrtvíz alkalmazása mellett az arzénát ionok eltávolítása a beadagolt koagulálószer mennyiségének növelésével csökken. Megállapítható, hogy a szűrtvíz tartalmazott megfelelő mennyiségben proton akceptor vegyületet, így az arzén eltávolítása, a célkitűzésnek megfelelően tökéletesen végbement. Az arzénátot tartalmazó oldattal végzett kísérletek alapján a kiindulási összes arzén koncentrációnak megfelelően 10 mg/L ( $\text{Fe}^{3+}$ ) koaguláns adagolással már megközelíthető, illetve több esetben – ha az összes arzén koncentráció

### Visszamért As koncentrációk $Fe^{3+}$ koagulálószer függvényében



**3. ábra:** As koncentrációk változása  $Fe^{3+}$  tartalmú koagulálószer függvényében

nem nagyobb, mint 50 µg/L – elérhető a 10 µg/L-es célérték.

A következő lépés az arsenit viselkedésének vizsgálata volt a koagulálószer adagolásának hatására. Az összehasonlíthatóság érdekében az arsenitből is 10 mg/L-es törzsoldatot készítettem, így a fajlagos adagolási mennyiségeken nem kellett változtatnom.

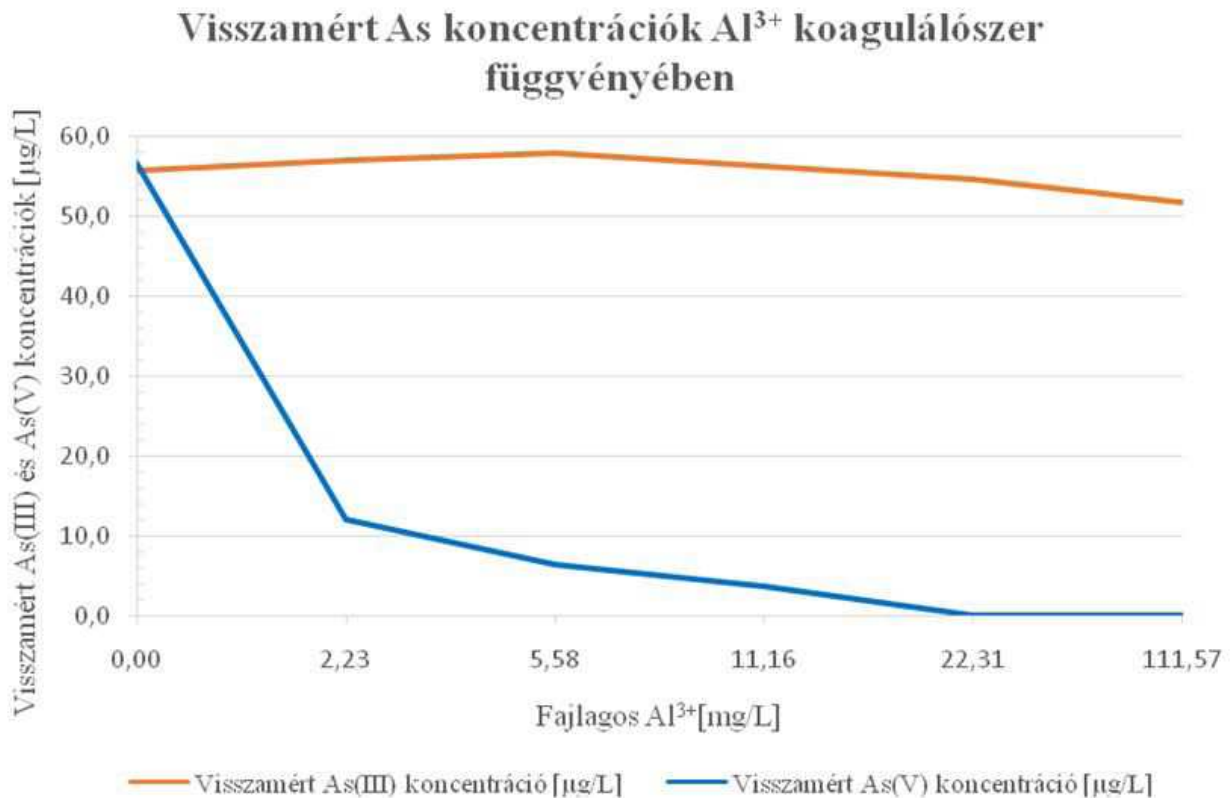
Az ábrán jól látható módon a  $FeCl_3$  hatással van az arsenit koncentrációra. Az arsenáthoz képest elhanyagolható mértékben, de mégis van oxidáló hatása a koagulánsnak vagy esetlegesen a redukált forma minimális kicsapására is alkalmas.

Méréstechnikai szempontból a fentebb leírt tapasztalatok miatt nem célszerű a kísérleti

meghatározáshoz a vas(III)klorid alkalmazása, ugyanakkor gyakorlati szempontból nagy jelentősége van.

$Al^{3+}$  tartalmú koagulánsal végzett mérések A vas(III)kloriddal végzett kísérleteket követően az arsenit és arsenát elválasztásához áttértem  $Al^{3+}$  -iont tartalmazó koaguláns alkalmazására.

Az alábbi kísérleteimhez szilárd  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ -ot alkalmaztam. A vas(III)klorid  $Fe^{3+}$  tartalma 13 m/m%, ezért az  $Al^{3+}$ -tartalmat is ehhez igazítottam. A törzsoldatot kristályvizet alumínium-szulfáttal készítettem.



**4. ábra:** As koncentrációk változása  $Al^{3+}$  tartalmú koagulálószer függvényében

A 4. ábrán jól látható, hogy a szakirodalmi leírásoknak ([4]; [5]) megfelelően az arsenit tartalomra az alumínium-ion nem gyakorol releváns hatást. A növekvő koncentrációban adagolt koaguláns a kiindulási összes arzén koncentrációhoz képest nem mutat jelentős eltérést, az arzéntartalom gyakorlatilag nem csökken a növekvő mennyiségű koaguláns adagolás hatására. Az atomabszorpciós mérés technika 15%-os hibahatárán belül mozognak az eredmények, így tekinthető egységessnek az eredmény.

Az alumínium-szulfát arsenát tartalomra gyakorolt hatását is vizsgáltam. Ebben az esetben a beadagolt vegyszerkoncentrációk hatása maradék arzéntartalomra hasonlóan alakult, mint a vas(III)-klorid alkalmazása esetén. A fajlagos mennyiség esetén a 10-szeres

szorzószám az elkészített törzsoldatból ered, tömegszázalékos tartalomban, azonban egyezik a beadagolt ionok mennyisége a kiindulási oldathoz képest – 40 m/m %-os  $FeCl_3 \cdot Fe^{3+}$  tartalma 13 m/m %, és az általam készített alumínium-szulfát oldatban is ugyanez a tömegszázalékos koncentráció az  $Al^{3+}$  tartalomra nézve.

Itt is megállapítható, hogy a növekvő koagulálószer mennyiséggel arányosan fokozatosan csökkent az arsenát tartalom.

Az alkalmazandó fajlagos mennyiség a szétválasztáshoz az elvégzett kísérletek alapján 22-25 mg/L  $Al^{3+}$ -ionra nézve. A koagulálószer ilyen mértékű túladagolására azért van szükség, hogy az összes oxidált formában lévő arzéntartalom kicsapásra kerüljön, így a membránszűrt vízben már biztosan csak

As(III) ionok maradnak. Ezeket a mennyiségeket csak alabortechnikában alkalmazzuk, a tisztítási technológiákban ennek töredéke kerül felhasználásra.

### Ismétlő kísérletek:

A továbbiakban párhuzamos méréseket végeztem a debreceni szűrtvízből, As(III) standard oldatból és As(V) standard oldatból készített modell oldatokon.

A tapasztaltak kiküszöbölése érdekében az utolsó mérésorozathoz egy olyan szűrtvizet választottam oldatkészítéshez, melynek arzénkoncentrációja nem befolyásolja az eredményeket, mivel ebben a szűrtvízben sok éves átlag alapján az arzénkoncentráció < 1 µg/L. Keverési arányok tekintetében itt is az előzőekben leírt %-os arányokat alkalmaztam és a koagulálószer mennyisége is azonos volt.

A modell oldatok összetétele a következők voltak:

20 % As(III) + 80 % As(V):

20 % As(III) standard oldat, mely ~10 µg/L arzénkoncentrációnak felel meg, ehhez adtam 80 % As(V) standard oldatot, mely 40 µg/L arzénkoncentrációnak felel meg.

50 % As(III) + 50 % As(V):

50 % As(III) standard oldat, mely ~25 µg/L arzénkoncentrációnak felel meg, ehhez adtam 50 % As(V) standard oldatot, mely 25 µg/L arzénkoncentrációnak felel meg.

80 % As(III) + 20 % As(V):

80 % As(III) standard oldat, mely ~40 µg/L arzénkoncentrációnak felel meg, ehhez adtam 20 % As(V) standard oldatot, mely 10 µg/L arzénkoncentrációnak felel meg.

Az 1. táblázat eredményei azt mutatják, hogy ha nincs jelen a szűrtvíz „zavaró hatású” saját arzénkoncentrációja, abban az esetben

Sorszám	Keverék leírása	Visszamért As koncentrációk [µg/L]
1	szűrtvíz	0
2	szűrtvíz + 20% As(III) + 80% As(V)	47
3	szűrtvíz + 20% As(III) + 80% As(V) + 1000 µl Alumínium-oldat	10,6
4	szűrtvíz + 20% As(III) + 80% As(V) + 1000 µl Alumínium-oldat	10,4
5	szűrtvíz + 20% As(III) + 80% As(V) + 1000 µl Alumínium-oldat	11,5
6	szűrtvíz + 50% As(III) + 50% As(V)	54,8
7	szűrtvíz + 50% As(III) + 50% As(V) + 1000 µl Alumínium-oldat	24
8	szűrtvíz + 50% As(III) + 50% As(V) + 1000 µl Alumínium-oldat	24,9
9	szűrtvíz + 50% As(III) + 50% As(V) + 1000 µl Alumínium-oldat	26
10	szűrtvíz + 80% As(III) + 20% As(V)	49,4
11	szűrtvíz + 80% As(III) + 20% As(V) + 1000 µl Alumínium-oldat	37,3
12	szűrtvíz + 80% As(III) + 20% As(V) + 1000 µl Alumínium-oldat	40,6
13	szűrtvíz + 80% As(III) + 20% As(V) + 1000 µl Alumínium-oldat	40,7

1. táblázat: Visszamért arzénkoncentrációk 0 µg/L arzéntartalmú szűrtvízzel

pontosan visszamérhető a kiindulási keverékek tartalmi. Ezen mérések alapján elegendően nagy biztonsággal használhatók az előre elkészített As(III), illetve As(V) oldatok belső standardként, illetve a 25 mg/L (Al<sup>3+</sup>-ra vonatkoztatva) koagulálószer adagolás.

### **A módszer alkalmazása az alábbiak szerint történik:**

A szerves arzenformák meghatározása érdekében a vizsgálandó mintából 1 literes oldatot készítünk egy pontos koncentrációjú As(III)-tartalmú standard oldat – 50 µg/L koncentrációjú arzenra nézve, 5 mL adagolása - segítségével. Amennyiben kisebb mennyiségű vizsgálandó oldatunk van, úgy az 1 literes mennyiségű oldat készítéséhez olyan oldószert – szűrtvíz, ioncserélt víz – szükséges használni, melynek kiindulási arzen koncentrációja nincs hatással a mérésre.

Az így elkészített vizsgálandó oldatot kevertetjük, hozzáadjuk a megfelelő fajlagos mennyiségű Al<sup>3+</sup>-tartalmú koagulálószer. Az 1 literes vízmintához Al<sup>3+</sup>-ra nézve 25 mg/L fajlagos adagolás elegendő, mivel ez a mennyiség az arzenit tartalomra nézve nem mutat változást, arzenát tartalomra nézve pedig  $\geq 50$  µg/L arzenát tartalmat is mérés határ alá tud csökkenteni. Ezt követően üleptjük a mintát, majd szűrjük és tartósítjuk az atomabszorpciós mérés megkezdéséig. A mérés eredménye alapján értékelhető lesz, hogy a kiindulási mintában az arzenit vagy az arzenát forma volt a domináns.

Ennek megfelelően egy egyszerű laboratóriumi vizsgálattal viszonylag gyorsan és pontosan tudunk beavatkozni megfelelő hatásfokú arzen eltávolítás érdekében.

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

A célkitűzéseknek megfelelően vizsgálatom az arzenit és arzenát szerves vegyületek egymás mellett történő meghatározásának lehetőségét, valamint egymáshoz viszonyított arányukat. Az így kapott eredmények ismeretében a vízkezelési eljárás során az arzen tartalom csökkentésére tett beavatkozások időszükséglete csökkenthető.

Ehhez laboratóriumi kísérleteket végeztem, melyek során elsőként a vízkezelésben egyébként is használatos vas(III)kloridot alkalmaztam koagulálószerként. A vizsgálatokból az derült ki, hogy amennyiben a két vegyületforma – As(III) és As(V) – elkülönítése a cél, abban az esetben a vas(III) klorid alkalmazása nem tökéletes, mivel az arzenit-tartalomra is hatással van (képes részben az arzenit szilárd formájúvá alakítására előoxidáció nélkül is). Ezen tapasztalatok alapján és a szakirodalmi leírásokat figyelembe véve a Fe<sup>3+</sup>-ionokat tartalmazó koaguláns helyett Al<sup>3+</sup>-tartalmú vegyszerrel folytattam a munkámat, amellyel sikeresen bizonyítottam, hogy az kizárólag az arzenát eltávolítására alkalmas, ezáltal egyértelműen szétválasztható vele az arzen két formája.

A mérések alapján megállapítottam, hogy a vizsgálati oldatok készítéséhez minden esetben olyan oldószert szükséges alkalmazni, melynek természetes puffer hatása jelen van - megfelelő mennyiségben jelen levő proton-akceptor, azaz olyan vegyület, amely a H<sup>3</sup>O<sup>+</sup> ionokat meg tudja kötni, így a komplex fém-hidroxidos formák létrejötte is támogatott - azonban arzenát tartalma 0 µg/L, így nem lesz zavaró hatása a kimutatás során.

Mivel esetünkben - a Debreceni Vízmű Zrt. üzemeltetési területén - a határérték túllépések többségében minimálisan térnek el a jogszabályi értéktől, ezért ajánlott és célszerű egy pontos koncentrációjú As(III)-oldatot alkalmazni

belső standardként a vegyületek elkülönítése során, mellyel csökkenthető az atomabszorpciós kimutatás mérési bizonytalansága. A belső standard adagolással az arzénkoncentráció kezdeti tartománya minden esetben > 25 µg/L. Mivel az atomabszorpciós spektrofotometriás műszer mérési bizonytalansága ilyen arzénkoncentrációs tartományban ± 15 %, szemben az alacsonyabb 1 – 25 µg/L tartománnyal, ahol ez az érték ± 20 %. Ezzel növelhető a mérési eredmények értékeinek pontossága. Az elvégzett kísérletek eredményei ígéretesek a laboratóriumi elválasztástechnika területén. További vizsgálatokkal egy könnyen használható módszert tudunk kialakítani, mely gyorsabb beavatkozási lehetőséget ad olyan esetekben, amikor az arzén értéke a hálózatra kiadott

vízben vagy hálózati vizsgálati ponton magasabb lesz, mint a jogszabályi határérték. Ilyen esetekben a technológiákban használt vegyszerek beállításainak gyors korrigálásával a domináns formának megfelelő beavatkozásra van lehetőség (oxidálószer vagy koaguláns dózis emelése), mellyel a lakosság terhelése időben és mennyiségben is minimálisra redukálható. A módszernek köszönhetően célzott problémakezelés érhető el, ami komoly előnyökkel jár a vízi közmű szolgáltatások üzemeltetésében és a vízbiztonság terén is, hiszen arzén határérték túllépés esetén a szolgáltatott víz „kifogásolt” minősítési kategóriába esik, azaz akár a víz fogyasztására vonatkozó korlátozást is elrendelhet az illetékes egészségügyi hatóság.

► **IRODALOMJEGYZÉK**

# Energiaellátás egyszerűen

Költségcsökkentés - Élettartam növelés szennyvíztisztító telepek részére: Komplett megoldás basic flizz® energialánccal és chainflex® kábelekkel

**Moduláris felépítés**

**Egyszerű telepítés**

**Garantáltan hosszú élettartam**



basic flizz® szennyvíztisztító telepek részére  
időjárásálló ház +++ biztonságos megvezetés +++ egyszerű szerelés +++ könnyen átalakítható a telepítés után is +++ igus® görgős energialánccal akár 200 m lökethez is +++ kompakt kialakítás +++ szabványosított és raktárról szállítható +++

**igus.hu** /szennyviztelep

Kérje ingyenes mintánkat: igus® Hungária Kft. Tel. 1/306-6486 info@igus.hu Tech-Con Kft. Tel. 1/412-41 61 motion plastics®



# A MICROBI TECHNOLÓGIA KIALAKULÁSA ÉS FEJLŐDÉSE: NÉHÁNY MARÉK GÉLTŐL A KONTÉNERIZÁLT SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TECHNOLÓGIÁIG

Kloknicer Tamás<sup>1,2,3</sup>, Sándor Dániel Benjamin<sup>1</sup>, Dr. Szabó Anita<sup>1,2</sup>

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

## ABSZTRAKT

A technológia alapötlete a BMEVízi Közmű és Környezetmérnöki tanszékén született meg a Dr. Fleit Ernő vezette IASON c. K+F projekt keretein belül 2004-ben. Az ötlet olyan, a szennyvíztisztításban alkalmazható mikroméretű (az eleveniszapos pehely mérettartományába eső) biofilm hordozóanyag létrehozása volt, mely képes reagálni környezetének paramétereire, illetve tulajdonságai (pl. sűrűség, felületi töltés, biodegradálhatóság) szabályozhatók a szintézis során. A fejlesztett hidrogéleken alapuló technológia tisztítási hatékonysága laboratóriumi léptékben igazolásra került, azonban a hordozóanyagok gyártása költséges, a szintézisközeg veszélyes volt.

2018-ban az Inno-Water Zrt. MICROBI (intelligens mikroreaktorok gyártása biológiai szennyvíztisztításhoz) névvel egy ITM által finanszírozott Ipar 4.0 pályázatot nyert, melynek terméke 2 olyan automata gyártókonténer lett, ahol az alkalmazott, új típusú hordozóanyagokat gazdaságosan, biztonságosan és nagy mennyiségben (üzemi léptékben) lehet gyártani. Az anyagtudományi kutatások olyan, PVA alapú hidrogélek kifejlesztéséhez vezettek, amelyek nagyságrendekkel kisebb méretűek (100-1500  $\mu\text{m}$ ), mint

a hagyományos mozgóágyas eleveniszapos technológiában alkalmazott carrierek (2,2-50 mm, 9-64 mm), és kisebbek, mint a modern, PVA alapú hidrogélek (4\*4 mm). A fejlesztett gélek olyan környezetet biztosítanak a mikroorganizmusok számára, melynek köszönhetően azok ellenállóbbak lesznek a negatív behatásokkal (mérgezés, tápanyag hiány, terhelés ingadozás stb.) szemben. Az NKFIH által támogatott „MICROBI – Intelligens mikroreaktorok alkalmazásabiológiai szennyvíztisztításban” című 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00118sz. projektben két konténerizált szennyvíztisztító technológiát és négy új receptúrát fejlesztettünk. 2023-ban az egyes receptúrák további tesztelése, valamint mikrooszkópos biofilmes vizsgálata egy nyertes ÚNKP pályázat, valamint 2024. februártól egy KDP pályázat keretein belül történt, továbbá az Inno-Water Zrt. saját finanszírozásában került továbbfejlesztésre a technológia. Ipari léptékben a konténerizált folyamatos üzemű technológia képes az előülepített kommunális szennyvizek hatékony megtisztítására. A technológia jelenleg stabil üzemre képes heti karbantartással, illetve 28m<sup>3</sup>/nap kommunális szennyvíz megtisztítására 99,4%-os ammónium, 94,3% KOI és 75% összes nitrogén eltávolítási ráta mellett. További terveink

között szerepel a technológia intenzifikálása, nagyobb tisztítási hatékonyság elérése, illetve további technológiai paraméterek (pl. hidrogél mennyiség, fajlagos felület, biomassza tömeg) meghatározása.

Laboratóriumi léptékben további kísérletek folynak annak érdekében, hogy meghatározzuk a hordozóanyagon növekvő biofilm vastagságát, tömegét, illetve a hordozóanyag mellett lévő pelyhes frakció és a biofilm biomassza arányát. Fénymikroszkópos számolási módszerrel meghatározható a hidrogélmenyiség, valamint TTC festés és Image-Pro szoftver segítségével feldolgozott mikroszkópos felvételek felhasználásával meghatározható a biofilm vastagság, valamint a hordozóanyagok méretbeli változása a tisztítás során. Az eredmények függvényében továbbfejleszhető a MICROBI technológiára épülő modellkörnyezet, melynek segítségével egy mesterséges intelligencia alapú irányítástechnika dolgozható ki a konténerizált technológia vezérlésére.

## BEVEZETÉS, IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szennyvíztisztítás egyik legfontosabb és elengedhetetlen része napjainkban a biológiai fokozat, vagy biológiai szennyvíztisztítás. Ez a tisztítási módszer a XX. század elején indult útjára olyan technológiákkal, mint az Em-scher-ülepítő, a csepegtetőtestes vagy az eleveniszapos eljárások (Förstner, 1993). A legelterjedtebb az eleveniszapos szennyvíztisztítás lett, melynek segítségével nagy mennyiségű nyers szennyvizet voltak képesek kezelni. A technológia üzemeltetése nem igényel sok beavatkozást, jelentős része automatizálható. A biológiai tisztítási folyamat lényege, hogy a vízben mikroorganizmus kolóniák fejlődnek, amelyek anyagcsere folyamataik során

felveszik a szennyvízből az ember számára nemkívánatos szerves, illetve szervetlen anyagokat. Ennek eredményeként egy egyre növekvő biomassza tömeget, illetve egy szennyezőanyagoktól mentes, tisztított szennyvizet kapunk (Wang et al, 2009). Az eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítás esetében a mikroorganizmusok, valamint az eltávolítandó szennyezőanyagok egy közeget alkotnak, melyet pelyheknek nevezünk (Leiv et al, 2012). Üzemeltetési szempontból a pelyhek meghatározó tulajdonsága azok ülepedési sebessége, valamint a pelyhekben élő biomassza tömege (Wang et al, 2009). A technológia korlátja, hogy a biomassza mennyisége ritkán haladhatja meg az 5-6g/l koncentráció értéket (Leiv et al, 2012; Barwal & Chaudhary, 2014), valamint nagy mennyiségű a keletkező fölösiszap, mely utókezelésre szorul (Barwal & Chaudhary, 2014).

A biológiai szennyvíztisztításban egy másik elterjedt eljárás a mozgóágyas biofilmes rendszer alkalmazása. A technológia Norvégiában látott napvilágot az 1980-as években „Kaldnes Moving Bed™ Biofilm process” néven (Ødegaard et al, 1998). Lényege, hogy a mikroorganizmusok az erre a célra speciálisan kialakított hordozóanyag felületén telepsznek meg, és ott egy biofilmet (biológiai réteget) alkotva végzik el a szennyvíz megtisztítását (Barwal & Chaudhary, 2014). A carrier anyaga sokféle lehet, a leggyakrabban alkalmazott anyagok a HDPE (nagy sűrűségű polietilén), PE (polietilén) vagy PP (polipropilén). Ezek hossza Barwal és Chaudhary 2014-es összefoglaló kutatása szerint HPDE anyag esetében 2,2-50mm között, PP esetében 10 és 35mm, míg PE esetében 5-14mm között alakul. Átmérőjük HDPE esetén 9-64mm, polipropilénél 15-35mm, míg polietilénél 12-25mm

(Barwal & Chaudhary, 2014). A hordozóanyagok biofilmképző mikroorganizmusok szempontjából meghatározó tulajdonsága többek között a fajlagos felület, ami megadja, hogy mekkora a carrieren rendelkezésre álló felület. Ezt lehet vonatkoztatni a carrier tömegére, így  $m^2/kg$ , míg, ha a reaktortérfogatra vonatkoztatjuk, akkor  $m^2/m^3$  mértékegységet kapunk. Utóbbi érték HDPE anyag esetében 200-1200  $m^2/m^3$  között, PP esetében 230-400  $m^2/m^3$ , míg PE esetében 400-800  $m^2/m^3$  (Barwal & Chaudhary, 2014) között alakul. Léteznek a hagyományos hordozóanyagoknál kisebb méretű carrierok, melyek célja a még nagyobb fajlagos felület, így még koncentráltabb biomassza tömeg elérése. Wang és munkatársai 2017-ben 4mm átmérőjű PVA (polivinil-alkohol) hordozóanyagot alkalmaztak, melynek felülete 50,24  $mm^2$  pórusok nélkül. Egy 2020-as amerikai tanulmány PVA alapú hidrogéleket készített el, melyek egységnyi tömegre vetített fajlagos felülete 27,77-29,96  $m^2/g$  volt (Hou et al, 2020). Shin és munkatársai (2019) PVA és PEG (polietilén-glikol) keverékéből készítettek carrierokat, melyek mérettartománya 10,85-12,79mm átmérő közé esett, 69,86  $m^2/g$  fajlagos felület mellett, míg hasonló körülmények között készített hidrogélek esetében 52,63  $m^2/g$ , illetve 152,2  $m^2/g$  fajlagos felületről számolnak be a publikációk (Shin et al, 2002; Yoon et al, 2018).

Az általunk alkalmazott hidrogél aktuális formáját a „MICROBI – Intelligens mikroreaktorok alkalmazásabiológiai szennyvíztisztításban” című 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00118 sz. projekt keretein belül érte el, azonban ezt megelőzően is folytak kísérletek a szennyvíztisztításban alkalmazható PVA alapú hidrogélekkel. A Fleit és munkatársai által végzett 2007-es kutatásban a hidrogélek

mérettartománya 50-400  $\mu m$ , 200-600  $\mu m$  közé esett, az utókezeléstől, illetve a betelepítés mértékétől függően. Ezt követően Sándor és munkatársai 2012-ben 100-150  $\mu m$  nagyságrendű gélekkel kísérleteztek laboratóriumi léptékben, 2-4g/l, illetve 0,1-0,2l/l hidrogél-reaktortérfogat arányban. Vizsgálatainkban kimutatták, hogy a hagyományos eleveniszapos technológiákkal szemben azonos körülmények között jobb ülepedést, illetve stabilabb mikrobiológiai aktivitást mutatnak a gélek felületén alkalmazott biofilmes rendszerek (Sándor et al, 2012).

Sándor és munkatársai 2017-ben kísérleteket végeztek PVA-PAA hidrogélekkel, mely kísérletek során a carrier mérettartománya 150-400  $\mu m$  közé esett. Megállapítást nyert, hogy a szennyvíztisztító organizmusok jelentős része megtelepszik a hidrogélek felületén, így kontrollálható a reaktortérben a fonalásodás mértéke, valamint sokkal jobb ülepedési tulajdonságok érhetőek el, mint a hagyományos eleveniszapos rendszerekben.

## ANYAG ÉS MÓDSZERTAN

Tekintettel a technológiában alkalmazott extrém kis méretű hidrogélekre, új vizsgálati módszertanok alkalmazása vált szükségesé. Ezen módszerek tesztelése első lépésben laboratóriumi léptékben történt, majd alkalmazásra kerültek a konténerizált technológia esetében is. Ez az első olyan vizsgálat, amely során meghatározható a gélek mérettartománya, átmérője, melynek változásából következtetni lehet a biofilm növekedésére, csökkenésére. Ennek vizsgálatához fénymikroszkóp (Zeiss AXIO Lab A1) és a hozzá tartozó szoftver (Zen 3.1, Blue Edition) segítségével nagy mennyiségű képet készítettünk (35-50 kép/minta) a hidrogélekről. Ezt követően az Image Pro képfeldolgozó

szoftver segítségével elkülönítettük a teljes gélfelületet, illetve a biomasszával beborított területet. A vizsgálat, illetve a képfeldolgozás eredményeképpen nagy mennyiségű adat áll rendelkezésünkre a biofilm vastagságának növekedését illetően, illetve meghatározható, hogy a rendelkezésre álló hordozó felület hány százalékán található élő biomassza. Az élő biomasszát TTC festéssel (0,5% Trifenil Tetrazólium klorid) különítjük el a gélfelület többi részétől.

Egy másik vizsgálat segítségével megállapítható az egységnyi reaktortérben található hordozók száma. Ebből egy kalibráló egyenes segítségével átváltható a darabszám térfogategységre, tehát a teljes reaktor térfogat-százalékára megadható a fajlagos hidrogél mennyiség. A meghatározás alapja a fény-mikroszkópos gélgöngy számolás. A meghatározott térfogatú és hígítású mintát egy egyenlő négyzetekre felosztott, 47 mikronos szűrőpapíron átszűrjük, melyen a hidrogélek fennmaradnak, illetve a szűrés hatására az esetleges pelyhek szétesnek, így kevésbé zavarják a számolást. A szűrőpapíron megadott számú cellában megszámloljuk a jelen lévő hidrogéleket, majd egy konstans szorzóval megszorozzuk, hogy a teljes szűrőpapír felületére vetíthessük a kapott értéket. A következő képlet segítségével kapjuk meg az eredményt ml/l értékben:

$$\frac{\frac{Gél_{darab}}{V_{szűrt}} * Hígítás * \frac{1}{X}}{\frac{\sum A_{cella}}{A_{össz} - A_{külső}}}$$

ahol:

- Géldarab: A megszámlolt gélek [db]
- Vszűrt: A szűrt mintatérfogat [ml]
- Acella: megszámlolt cellák felülete [mm<sup>2</sup>]
- Aössz: szűrőpapír teljes felülete [mm<sup>2</sup>]

- Akülső: szűrőpapír széle [mm<sup>2</sup>]
- X: kalibráló egyenes egyenletéből konstans [-]

A vett gélmennyiség (db/l) és az átlagos gélméret segítségével meghatározható a reaktortérfogatra vonatkoztatott fajlagos felület a következő képlettel:

$$\frac{D^2}{4} * \pi * 4 * \frac{\frac{Gél_{darab}}{V_{szűrt}}}{\frac{\sum A_{cella}}{A_{össz} - A_{külső}}} * Hígítás$$

Az eredményekből már megadható lesz egy hidrogéllal feltöltött rendszer fajlagos felülete. A konténerizált technológia vizsgálata során vízkémiai méréseket hajtottunk végre, melyek során a következő szabványokat alkalmaztuk:

- MSZ ISO 6060 (KOI)
- MSZ 1484/13-09 (nitrát-nitrogén, nitrit-nitrogén)
- MSZ ISO 7150-1:1992 (ammónium-nitrogén)
- MSZ 448/18-77, LCK238 (Összes nitrogén)

A konténer térfogatáramának mérését egy pontosan meghatározott térfogatú mérőedénnyel történő köbözés során határoztuk meg.

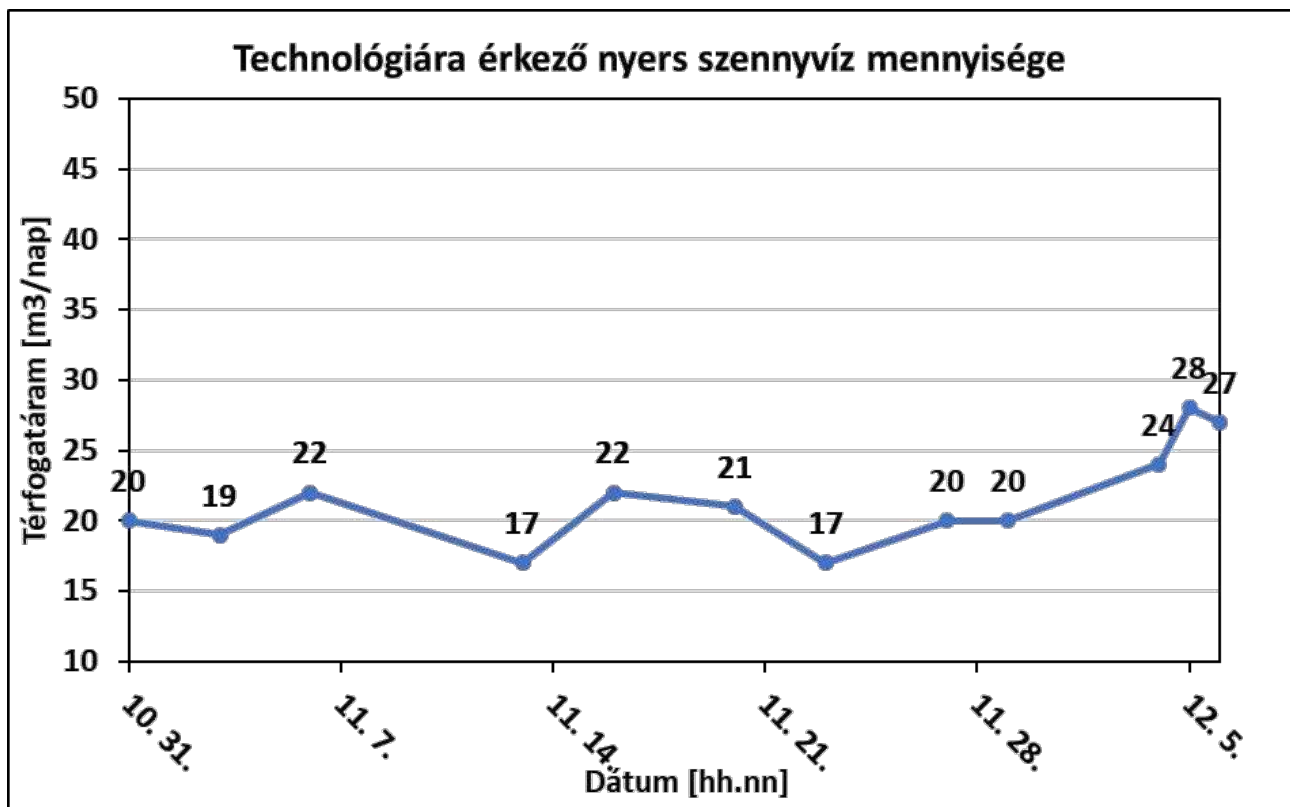
## TECHNOLÓGIA BEMUTATÁSA

A technológia egy szabvány méretű, 5,9 m\*2,3 m méter alapterületű konténerben került kialakításra. A technológia első lépése egy előülepítő alkalmazása. Ezt követően két kevert és levegőztetett medence következik, ahova gravitációsan érkezik az üleptetett nyers szennyvíz. A medencék egyenként 6,92m<sup>3</sup> ösztérfogatúak, illetve 2-2 egyenlő térrészre vannak felosztva merülőfalak segítségével, melyek esetében biztosított a víz átjárás. Az így összesen 4 térrész egyesével kiszakaszolható a levegőztetésből golyós

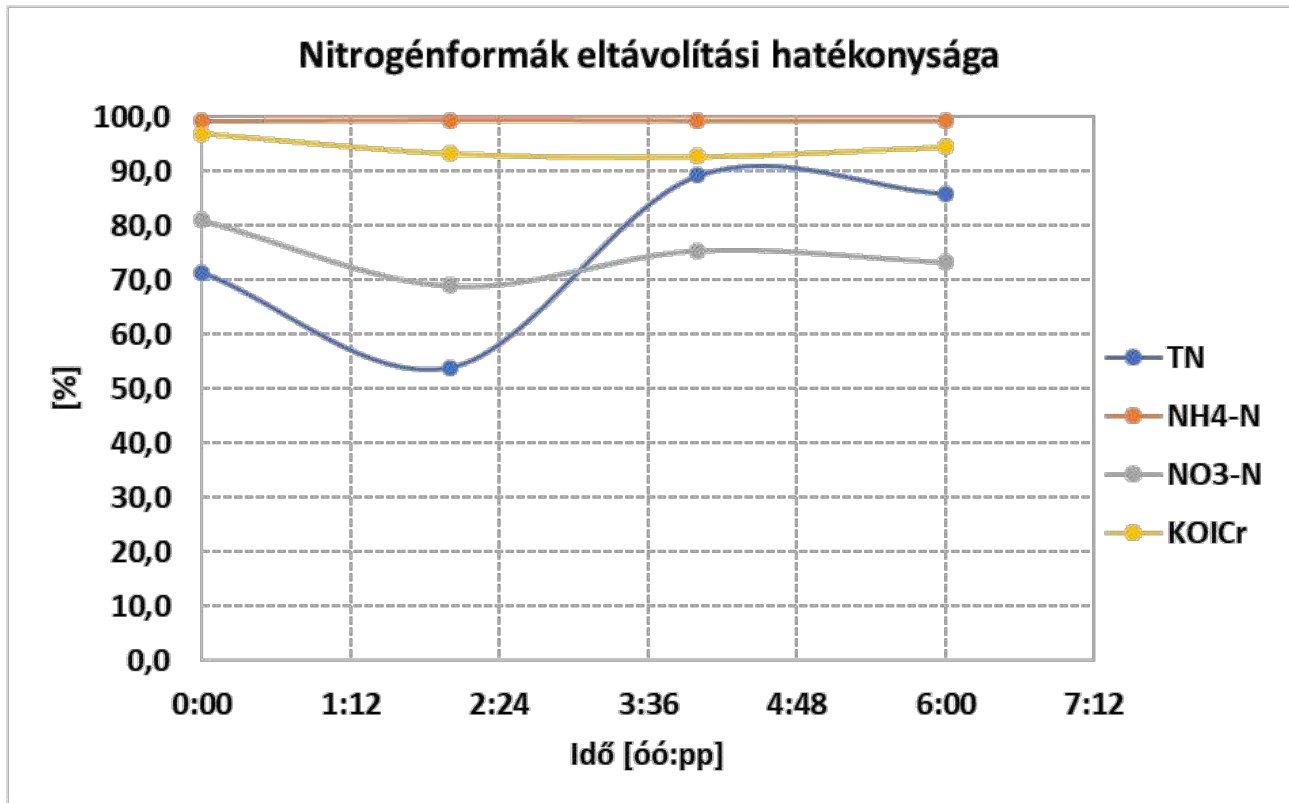
csapok, illetve pneumatikus szelepek segítségével. A térrészek, illetve a reaktorok sorban vannak kötve, és gravitációsan áramlik közöttük a szennyvíz. A legutolsó térrész esetében egy mozgatható merülőfal került elhelyezésre, 20-70cm közötti távolság állítható az elfolyó bukóéltől. A fal elfolyó felőli oldalán a levegőztetés és keverés hatása nem érvényesül, így itt az iszap, illetve a hidrogélek ülepedhetnek. Az átjárás a merülőfalon csak alulról biztosított, ezzel tovább segítve az ülepedést. Minden térrész esetében felső keverés került kialakításra, egy keverő száron 2db, három lapátos, védőgyűrűvel ellátott keverőfej került elhelyezésre. A biológiai reaktorokat elhagyva a víz gravitációsan két acél tartályba kerül, melyek kör keresztmetszetűek, alul kúpos kialakításúak. Itt időzített elektromágnesek felelnek a vastartalmú gélgyöngyök visszatartásáért, valamint a reaktorok aljában

keletkező hidrogéles iszapot recirkulációs szivattyúk vezetnek vissza a technológia elejére. A technológia utolsó szakaszában egy utóülepítő található, melyen bukóél, illetve gúla alakú aljzat került kialakításra, így szeparálható az elfolyó fölösiszap (mely már nem tartalmaz hidrogéleket) és a tisztított szennyvíz. A konténer teteje 6 részletben nyitható, így hozzá lehet férni az egyes medencékhez, szivattyúkhöz, valamint a keverőkhöz. Oldalról érhető el a légbefúvó, illetve a kompresszor a pneumatika számára. A rendszer rendelkezik egy nagy térfogatú nitrát recirkulációs, illetve egy kisebb térfogatú, de a gélek fizikai szerkezetére nem káros, iszap recirkulációs szivattyúval. Mindkettő az utolsó levegőztetett térrészből vezet vissza az első levegőztetett térrészbe.

Technológia kapacitásának bemutatása hideg üzemállapotban



1. ábra – A technológiára érkező szennyvíz térfogatáramai



2. ábra – Tisztítási hatékonyság a folyamatos mérés eredményei alapján

2023. októbertől december közepéig üzemelt a technológia, így erről az időszakról értékes, egybefüggő adataink származnak a technológia tisztítási hatékonyságát, biofilm vastagságát illetően.

A vizsgálati szakasz során első és legfontosabb lépés a technológiára érkező térfogatáram stabilizálása és megvizsgálása volt. Ennek mérési eredményeit az 1. ábrán mutatjuk be.

A térfogatáramot stabilizálás után fokozatosan emeltük, amint a napi mérési eredmények alapján a tisztított szennyvíz szennyezőanyag tartalma kellően alacsony értéket ért el.

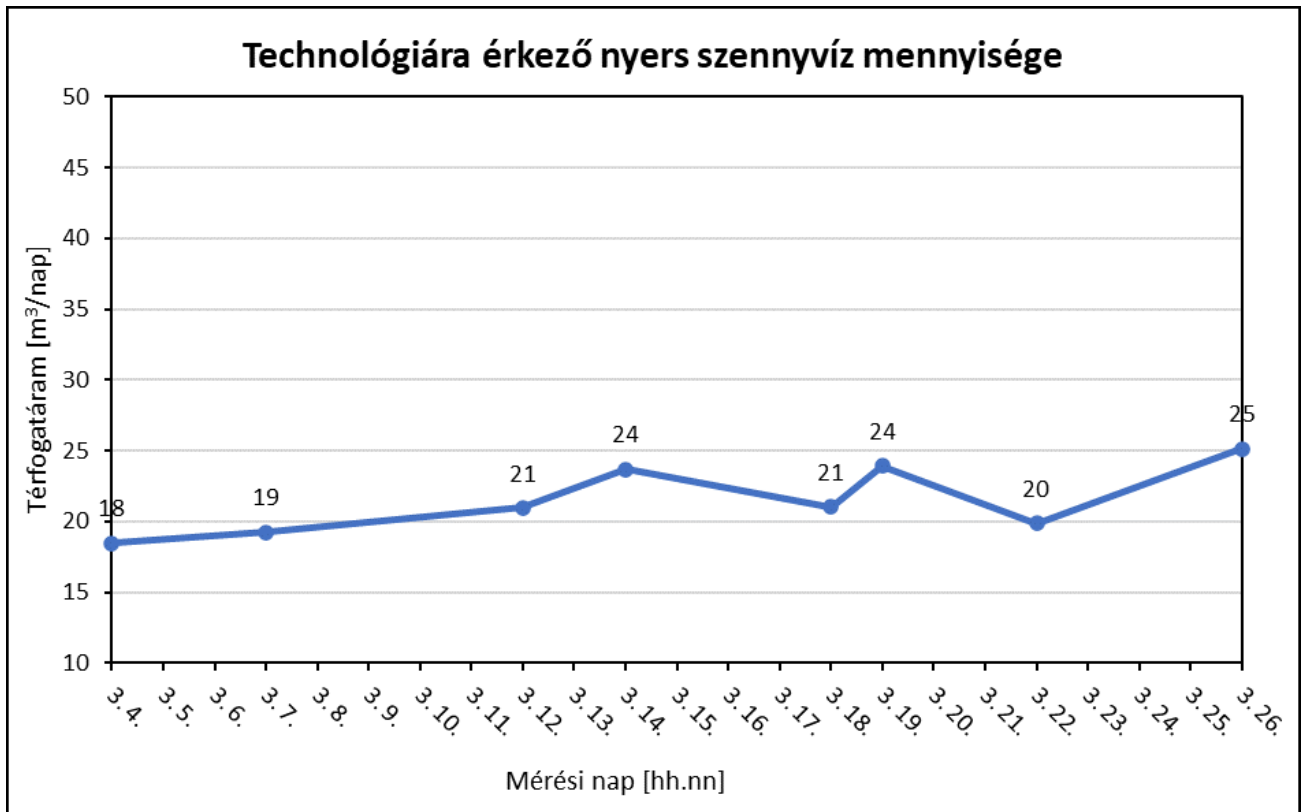
Következő lépésben 24 órás mérést hajtottunk végre annak érdekében, hogy megvizsgáljuk, milyen tisztítási hatékonysággal rendelkezik a technológia hideg befolyó szennyvíz mellett. A mérésre 2023. decemberben került sor,

12 °C-os befolyó szennyvíz mellett. Az eredmények értékelése során figyelembe vettük a technológiában belüli 12 órás hidraulikai tartózkodási időt. Az eredmények a 2. ábrán láthatóak.

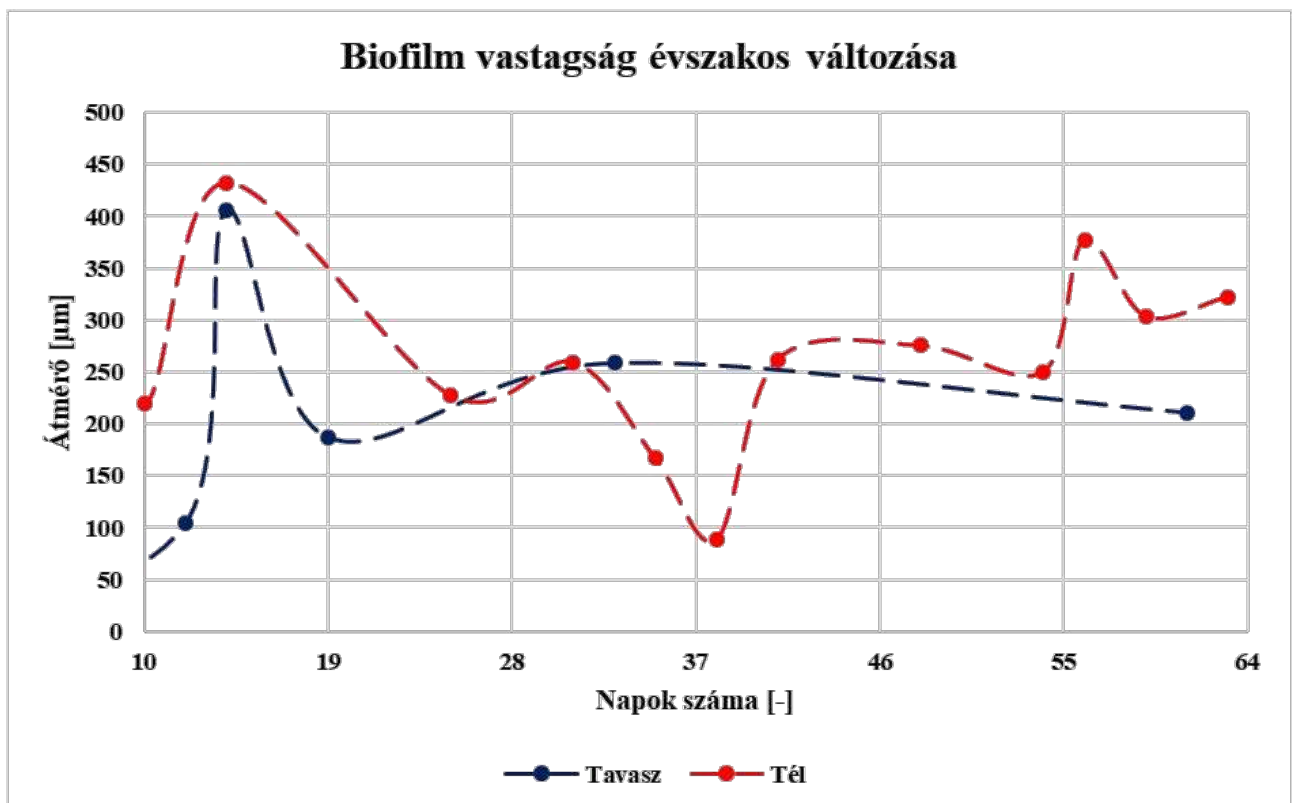
A nitrát-nitrogén eltávolítási hatékonysága 73,3 és 81% között, míg az össznitrogén eltávolítási hatékonyság 53,8 és 89,2% között alakult. Ammónium-nitrogén és KOICr esetében az értékek végig 90% felett voltak.

Tavaszi üzemi állapotok

A technológiát a téli leállást követően február közepén, magasabb befolyó szennyvíz hőmérséklet mellett ismét elindítottuk. A rendszer átmosását követően március elején újabb adag gélmenyiséggel töltöttük fel a reaktorokat. Az tavaszi vizsgálat alatti térfogatáram mérési eredményei a 3. ábrán láthatóak.

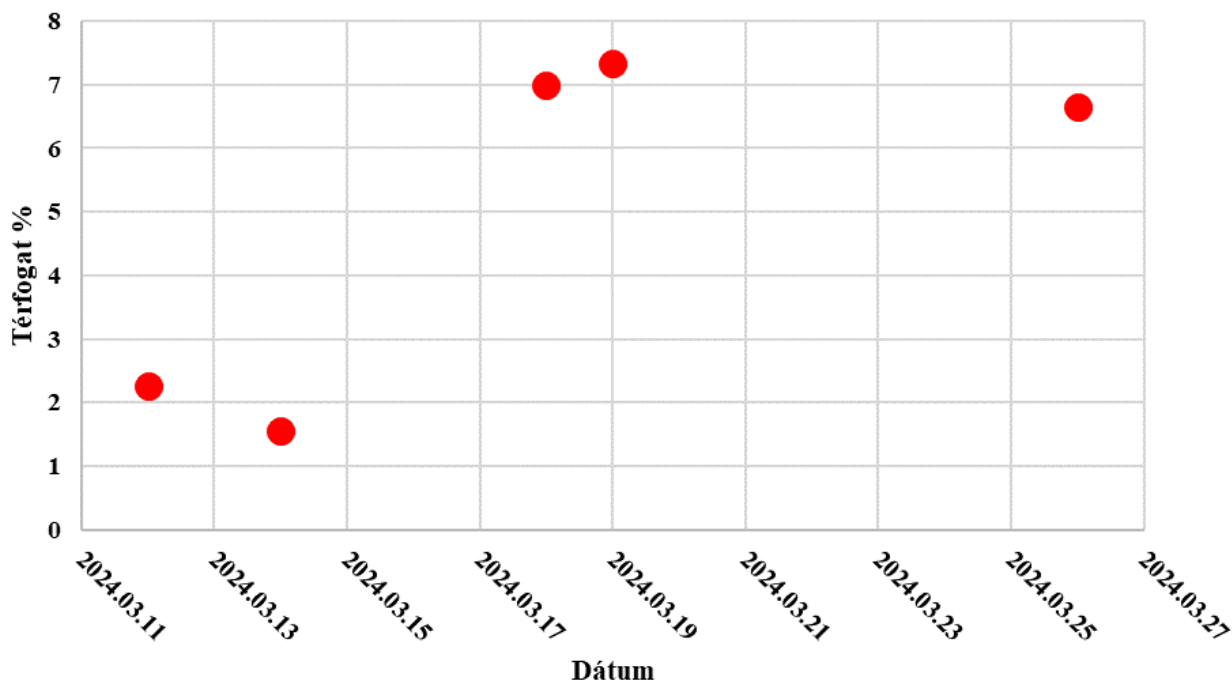


3. ábra – A technológiára érkező nyers szennyvíz mennyisége



4. ábra – A biofilm átlagos vastagságatéli és tavaszi üzemállapotban

## Hidrogél mennyiség reaktorra vetített térfogat %-ban



5. ábra – A biofilm vastagság változása laboratóriumi és ipari körülmények között

Kezdetben térfogatáram stabilan tartása volt a cél, majd elkezdtek fokozatosan emelni a technológiára táplált szennyvíz mennyiségét.

A következő ábrán (4. ábra) összevetettük a biofilm vastagságának értékeit a téli üzemállapotok mellett tapasztaltakkal.

Noha a téli üzemállapot mellett nagyobb felbontással dolgoztunk (gyakoribb mintavételre volt lehetőség), hasonló trendek figyelhetőek meg mindkét évszak esetében. E mellett a biofilm nagyságrendi mérete is hasonló értékeket mutat.

Biofilm vastagság változása laboratóriumi körülményekhez képest

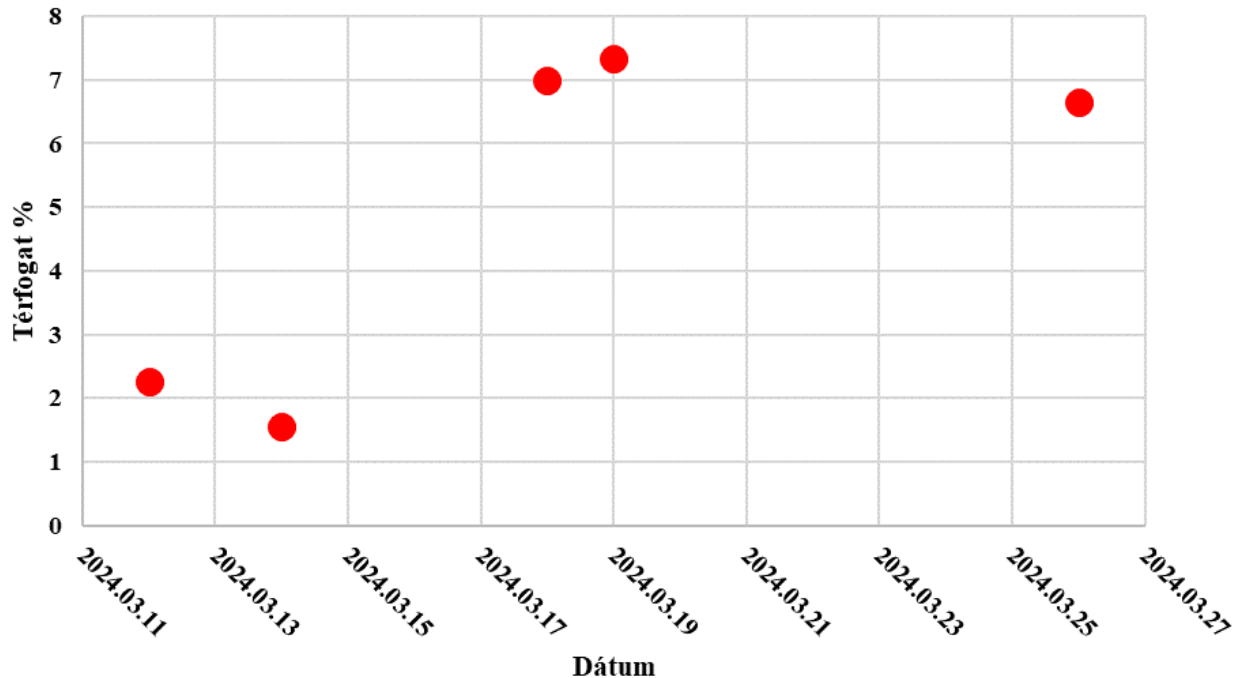
A TTC festett képek feldolgozásából nagy mennyiségű adat áll rendelkezésünkre a gélek

biomasszával borítottságát, illetve azok átmérőjét illetően. Laboratóriumi körülmények között megvizsgáltuk a különböző hidrogélek felületén növekedő autotróf biofilm vastagságát. Ugyanazén vizsgálatokkal megnéztük, hogy hogyan növekedik a biofilm ipari léptékben, a konténerizált technológia esetén, mely eredmények összevetését az 5. ábrán mutatjuk be.

A laboratóriumi körülmények között vizsgált hidrogél tartalmazott adszorbenst, illetve autotróf kultúra növekedett a felületén. Az egyes növekedési trendek hasonlóak, azonban az átmérő jellemzően kisebb, mely az autotrófok lassabb növekedésével, illetve alacsonyabb pehelyképző tulajdonságaival indokolható.



### Hidrogél mennyiség reaktorra vetített térfogat %-ban



6 ábra – Konténerizált technológiában alkalmazott gélszámolás eredménye

Gélmennyiség számítások alkalmazott eredményeinek bemutatása

Laboratóriumi körülmények között tesztelésre, és validálásra került az egyes hidrogélek számolásának módszertana, melyet azonnal alkalmazni, illetve tesztelni lehetett ipari, konténerizált környezetben. A vizsgálat célja kettős volt, első körben meghatározni, illetve tapasztalatokat gyűjteni a módszer alkalmazását illetően, másodszer pedig megvizsgálni azt, hogy a konténerizált technológiában működő hidrogél visszatartás milyen hatékonysággal működik. Az eredmények a 6. ábrán láthatóak.

Méréseket hajtottunk végre a konténer feltöltése közben is. A módszertan már 1,5-2% hidrogél jelenlétének kimutatására alkalmas. A további mérések alapján megállapítható,

hogy hosszabb üzemeltetés alatt is tartható 7%-os reaktor térfogatra vonatkoztatott hidrogél mennyiség.

Másik meghatározható tényező a fajlagos felület, melyhez szükséges a kísérletek kezdetén a hidrogélek átlagos átmérője, valamint az egyes hidrogélek darabszáma adott térfogatra vetítve. Ezen számítások eredményei láthatóak az 1. táblázatban.

Az „alap”, adszorbenst nem tartalmazó hidrogélek fajlagos felülete valamivel elmarad a vas, illetve aktív szén adszorbenst tartalmazókéétól. Megállapítható, hogy mindhárom adszorbensnek nagyságrenddel magasabb a fajlagos felülete, mint a hagyományos hordozóké. Ugyanakkor meg kell jegyezni azt is, hogy ezen számítások esetében a hidrogélekről feltételeztük, hogy tökéletes gömb alakúak, illetve nem barázdált a felületük. Ennél

Hidrogél típus	Átmérő [μm]	Fajlagos felület [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
Vas töltet	737	60517
Aktívszén töltet	785	52203
„Alap”	685	68558

**1. táblázat** – A számított fajlagos felület egyes hidrogélek esetében

fogva a mikroorganizmusok számára elérhető felület feltehetően még nagyobb, de ennek igazolására további kísérletek elvégzésére lesz szükség.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A MICROBI hordozóanyag több évtizedes fejlesztésen, illetve számos vizsgálaton esett át, mire elérte jelenlegi formáját. A mikroszkopikus carrier alkalmas arra, hogy egy ipari léptékű, konténerizált technológia alappillére legyen, annak biológiai medencéjében olyan speciális hordozóanyagként funkcionáljon, mely szivattyúzható, illetve elektromágnesek segítségével elválasztható a tisztított

szennyvíztől. A konténerizált vizsgálatokat megalapoztuk, illetve teszteltük laboratóriumi léptékben. Ez alapján kijelenthető, hogy mind a hidrogélek mennyiségére vonatkozó számítás, mind pedig a biofilm vastagságát célzó számítások hatásosnak bizonyultak ipari léptékben is. Ezzel párhuzamosan optimalizálásra és fejlesztésre került a konténerizált technológia, jelenleg képes naponta 28 m<sup>3</sup> kommunális szennyvizet megtisztítani nagy hatékonysággal a mellett, hogy a bele helyezett 7 térfogat százalék hidrogél hosszú távon a rendszerben maradjon. Jelenlegi eredmények mellett azonban fontos megjegyezni, hogy a technológia tovább intenzifikálható mind alkalmazott, mind pedig elméleti szinten. További módszerek kifejlesztése, illetve számítás metodikák megalkotása indokolt, hogy további üzemi paraméterek legyenek meghatározhatóak. Továbbá a jövőben érdemes lehet a technológia tisztítási kapacitását, valamint hidrogél mennyiségét tovább emelni.

# MÉRLEGEN AZ EU TAGSÁG 20 éve.

*Felkészülés a jövőre*

TELEPÜLÉSI VÍZGAZDÁLKODÁSI KONFERENCIA ÉS KÖZÖSSÉGI TERVEZÉS

**Tata, 2024. november 14-15.**



TÁRSSZERVEZŐK



KÉK·BOLYGÓ  
ALAPÍTVÁNY

RÉSZLETEK

<https://www.maszesz.hu/orszagos-konferencia-2024/>

## MÉRLEGEN AZ EU TAGSÁG 20 ÉVE

### Számvetés, felkészülés a jövőre a települési vízgazdálkodásban

#### MÉRLEGEN AZ EU TAGSÁG 20 ÉVE SZÁMVETÉS, FELKÉSZÜLÉS A JÖVŐRE A TELEPÜLÉSI VÍZGAZDÁLKODÁSBAN

Inspiratív előadók, részvétel alapú stratégiai tervezés

A Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség  
2024 évi konferenciája

Társszervezők: EWA, Nemzeti Közszolgálati Egyetem – Víz tudományi Tanszék, Kék Bolygó Alapítvány

2024. november 14-15.

Helyszín: Pálma rendezvényház – Tata  
Nyugati Stílus (6fős körasztalok)

A Települési Vízágazat:

A települési vízágazat ugyanolyan fontos az ország gazdasága számára, mint maga a víz az élet számára. Ez az infrastrukturális elem biztosítja azt az alapot, ami lehetővé teszi az ipari, mezőgazdasági termelést és azt, hogy egészséges körülmények között éljenek emberek az ország településein.

A konferencia koncepciója:

Az esemény egyik részről a legkiválóbb nemzetközi és magyar szakértők konferenciaszerű megszólaltatásával, számot vet az ország EU tagságának első 20 évével, a gazdasági fejlődés szempontjából kulcsfontosságú települési vízágazat nézőpontjából. Inspiratív előadók és mélyreható panelbeszélgetések tárják fel a hátteret. Ugyanakkor formabontó törekvésünk, hogy mindemellett a jelen/jövő kihívásait számbavéve a részvételi stratégiai tervezés technikáival közösen készüljünk fel a következő idők kihívásaira. Fontos, hogy a résztvevők együtt dolgozzanak a szakpolitikai irányítással, közösen értékeljék a kihívásokat, mondjanak szakmai ítéletet a kínáló

megoldásokról, vagy határozzanak meg követendő utakat. Célunk a passzív hallgatók „tájékoztató” helyett, a teljes ágazat kollektív intelligenciájának segítségével hívása, egy olyan rendezvény szervezése, ahol igazi szakmai párbeszéd születik egy sikeres és fenntartható jövő érdekében.

**Első nap:**

9:00-9:20 Regisztráció

Megnyitók, köszöntők (Szekcióvezető: Szalóki Szilvia)

9:20-9:25 Bevezetés

9:25-9:40 Áder János a Kék Bolygó Alapítvány kuratóriumának elnöke, Magyarország korábbi Köztársasági Elnöke

9:40-9:55 V. Németh Zsolt Vízgazdálkodásért felelős Államtitkár – Energiaügyi Minisztérium

9:55-10:25 Díjátadások

I. PANEL: EU-s direktívák: megfelelési kényszerek és/vagy fejlesztési lehetőségek? Eredmények és hiányosságok... (Szekcióvezető: Major Vera)

10:25-10:50 EU-s elvárások, célkitűzések, forrás és módszertani támogatások, megfelelési indikátorok

Előadó: Helmut Blöch volt Eu Head of Water DG ENVIRO, EWA szakértő

10:50-11:15 Szünet

11:15-11:40 Kötelezetti/kedvezményezett kiadvások, teljesítmények,

Jó és rossz gyakorlatok

Előadó: Kovács Károly MASZESZ elnök, az EWA korábbi elnöke

11:40-12:00 EU soros elnökség - Tanulmány ismertető

Előadó: Pálvölgyi Tamás, dékánhelyettes Stratégiai és Nemzetközi ügyek NKE-VTK

12:00-12:15 Asztaloknál történő reflexiók az elhangzottakról

12:15-13:00 Az elért eredmények megfelelősége, fenntarthatósága - a továbblépés alapjai

Moderátor: Kovács Károly

Panelbeszélgetés résztvevők (FA):

Szappanos Péter EIB Jaspers

Szalóki Szilvia volt MEKH elnökhelyettes

Kurdi Viktor MAVÍZ elnöke

Láng István BM/OVF elnök

Ungvári Gábor REKK

Kovács Péter Mo. Vízigazgatója

Haranghy Csaba NV ZRT vezérigazgató

Gémesi György MÖSZ

17:00-kb 18:30 Résztvevők bevonása, közösségi tervezés: kihívások tematizálása, prioritizálása

Szabad tér munkacsoportok szerveződése

(ki-ki választ számára fontos témát)

19:30- Gálavacsora

13:00-13:20 Résztvevői impressziók az elmúlt 20 évről

10 perc az asztalbeszélgetés

10 perc felhőszókép az impressziokról

13:20-14:00 Ebéd

14:00-14:20 10 db 2 perces pitch a kihívásokra megoldásokat kínáló cégek részéről (előtérben poszter szekció)

14:20-14:40 GWP Stockholm Junior Water Price előadások

II. PANEL: Következő időszak kihívásai

(Szekcióvezető: Molnár Attila)

14:40-15:05 Szigorodó direktívák

Előadó: Baranyai Gábor EWA-European Policy Committee

15:05-15:30 Növekvő társadalmi elvárások

Előadó: Rentz Tamás Vízgazdálkodásért felelős

Helyettes Államtitkár- Energiaügyi Minisztérium

15:30-15:45 Asztaloknál történő reflexiók az elhangzottakról

15:45-16:10 Szünet

Közben poszterkiállítás

16:10-17:00 panelbeszélgetés: Felkészülés a jövőre

Moderátor: Csörnyei Géza

Panelbeszélgetés résztvevők (FA):

Rentz Tamás EM Helyettes Államtitkár

Baranyai Gábor

### Második nap:

III. rész: Dolgozzon együtt velünk a megoldásokon:

Megoldási javaslatok az előző nap azonosított és prioritizált kihívásokra: szakigazgatás, szakma, társadalom / szabályozás, intézkedés, technológia

(Szekcióvezető: Makó Denise vagy Patziger)

8:40-9:00 ÚJ asztalon történő reflexióval az előző napról, ami behangol, átvált és a figyelmet felszabadítja az előadókra.

9:00-9:20 -Merre tart a víz a világban? – globális perspektíva

Előadó: Szöllősi-Nagy András Unesco Chair vezető – Nemzeti Közszolgálati Egyetem

9:20-9:40 – A Szajna megtisztítása – esettanulmány

Előadó: Dan Lert – elnök Eau de Paris (FA)

9:40-10:00 – Esettanulmányok, példák: a mérnöki szakmára váró műszaki-tudományos, szociális, környezeti kihívásokra adott pozitív, sikeres, nagyhatású válaszok, megoldások közül

Előadó: Bogárdi János

10.00-10.20 Szünet

10:20-10:35 Közösségi tervezés tematikus felvezetés (technika, előző napi eredmények)

10.35-12:30 Résztvevők bevonása, közösségi tervezés. SolHungary facilitátorokkal

12:30-12:45 Asztalokról érkező reflexiók kielemezése, grafikus facilitátor prezentációja

12:45-13:05 Összegzés, zárászó

-Kovács Károly

13:05-14:00 Szendvicsebéd

(a programváltoztatás jogát fenntartjuk)

## ÚJ FŐTITKÁR A SZÖVETSÉGBEN



2024 szeptemberétől dr. **Szalóki Szilvia**, a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) víziközmű-szolgáltatásért és hulladékgazdálkodásért felelős korábbi elnökhelyettese veszi át a MaSzeSz főtitkári teendőit. A több mint 12 éves hazai közműszabályozási feladatok mellett Szilvia kilenc évig az Európai Víziközmű-szabályozó Hatóságok Szövetségének (WAREG) elnökhelyetteseként uniós és további nemzetközi szakmai folyamatok aktív alakítójaként vett részt a települési vízgazdálkodás fejlesztésében.

A víziközmű szektor tevékenységének és működésének átfogó ismerete, jogi szemlélete, szaktudása, a vízellátással kapcsolatos uniós irányelvek kialakítása terén meglévő nemzetközi szakmai tapasztalata az ágazaton kívül is ismert és elismert. Részt vett

a hazai víziközmű-szektor történetében mérföldkönek számító, a víziközmű-szolgáltatásról szóló 2011. évi CCIX. törvény (Vksztv.) hatálybalépését követően az ágazatot érintő, teljeskörű integráció végrehajtásában, az árszabályozás módszertanának kidolgozásában.

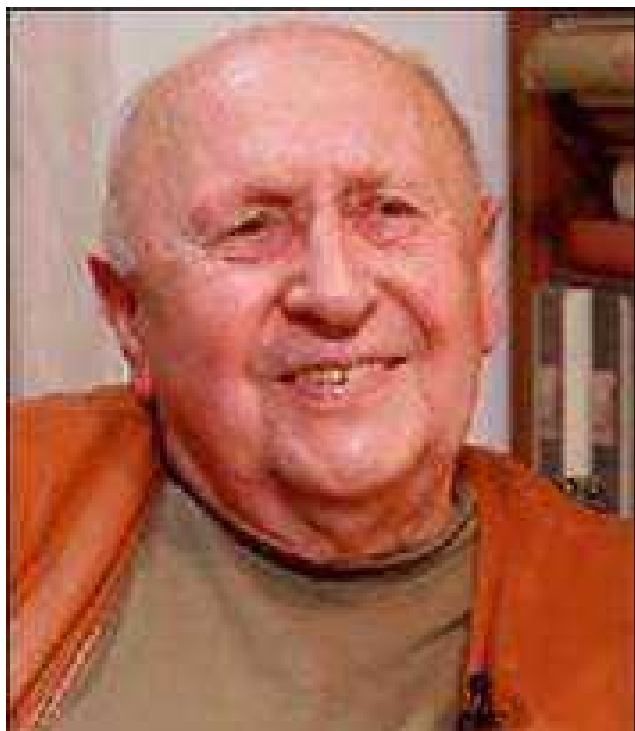
A nemzetközi szinten WAREG elnökhelyetteseként a vízügyi szakemberek közötti szorosabb együttműködésért, a tudásmegosztás és kapacitásépítés előmozdításáért, a vízszolgáltatással kapcsolatos európai jogszabályi vívmányok végrehajtásának támogatásáért dolgozott.

A Pázmány Péter Katolikus Egyetem Állam- és Jogtudományi karának óraadója és tantárgyfelelőse, a Corvinus Egyetem meghívott előadója. Oktatási tevékenysége mellett nemcsak hazai viszonyok között, hanem nemzetközi szinteken is rendszeresen részt vesz felkért előadóként, szakmai közreműködőként rangos szakmai eseményeken.

Szilvia a Szövetséggel már korábban is kiváló szakmai kapcsolatot ápolt, számos rendezvényünkön köszönthettük őt kiemelt előadóként, szakmai szerepvállalóként.

Vizes vonatkozású tapasztalataival idén szeptembertől már a MaSzeSz folyamatos fejlődését támogatja. A korábbi főtitkár, Rózsa Bálint december 31-ig segíti az új főtitkár bekapcsolódását a munkába, mellyel a zökkenőmentes átmenet és a futó programok sikeres lebonyolítása is biztosított.

## EMLÉKÉT KEGYELETTEL MEGŐRIZZÜK!



### DR. SOLTI DEZSŐ

(Pécs, 1941. június 2. – Pécs, 2024. augusztus 11.)

Okleveles mérnök (ÉKME 1964), okl. vízellátás-, csatornázás-, egészségügyi szakmérnök (BME 1971), okl. gazdasági mérnök (BME 1977), egyetemi doktor (BME 1986), c. főiskolai tanár (1987), c. egyetemi docens (1992). Szakmai pályafutását 1964-ben a Baranya Megyei Állami Építőipari Vállalatnál kezdte, majd 1967-ig a Komlói Vízmű (később Baranya Megyei Vízmű Vállalat) üzemi mérnöke, utóbb, 1967-től a Pécsi Vízmű üzemvezetője, 1971-től osztályvezetője, 1974-től főmérnöke, majd ugyanazon évben kinevezték a Vízmű igazgatójának, amely megbízatása 1994-ig tartott. Ezt követően két évig a Pécsi Közüzem Rt.-nél műszaki-gazdasági tanácsadó,

1995-től a DRV Rt. főmunkatársa, 1996–2006 között területi igazgatója.

Munkásságát számos kitüntetéssel ismerték el, többek közt a Munka Érdemrend Ezüst fokozatával (1987), a környezetvédelmi és vízügyi kormányzat Vásárhelyi Pál-díjával (2004), valamint a MAVÍZ Reitter Ferenc-díjával (2005).

Mindenkor törekedett a csatornaüzemeltetés, -építés és -tisztítás során a legkorszerűbb eljárások magyarországi bevezetésére. Elsők között használt tisztított szennyvíz ipari felhasználására alkalmazható technológiát. Irányításával valósult meg az első hazai termikus iszapkezelés, biogáz hasznosítással és a granulátum mezőgazdasági felhasználásával.

Javaslatára és tervei alapján létesült a Melegmányi-völgyi 3000 köbméteres vízmű, amely a mai napig is Komló vízellátását szolgálja. Vass Béla kollégájával karszt visszaduzzasztással megoldották a Tettye-forrás hozamkiegyenlítését. Vezetésével kezdődött meg a közmű diagnosztika, a vízellátó hálózat hidraulikai modellezése, majd a 80-as évektől a kitakarás nélküli rekonstrukció. Kiemelt szakmai érdeklődési területei voltak: a víz újrahazaszna, valamint az üzemeltetés komplex kérdései.

Igen jelentős tervezési tevékenységet folytatott, vállalati-, ill. magántervezőként.

1965 óta vett részt a szakoktatásban, először technikumi óraadóként, majd az 1970-es évek végétől Pécsen, a Pollack Mihály Műszaki Főiskolán tanított környezetvédelmet nappali hallgatóknak, mint külsős, több mint egy évtizedig.

A posztgraduális képzésben, a szakmérnök-oktatásban a Bajai Vízügyi Főiskolán 1986-tól tanított csatornázást, majd a Budapesti Műszaki Egyetemen is, víziközmű rekonstrukciót. Több tucat publikációja jelent meg a Vízügyi Közleményekben, a Hidrológiai Közönyben és más szaklapokban. Egyetemi jegyzeteket is írt és társszerzőként két szakkönyvet is jegyez (Víz- és csatornahálózatok rekonstrukciója, 1989; Csatornarendszerek üzemeltetése, 2006).

A Vízügyi Közlemények és a Vízmű Panoráma szerkesztőbizottságainak két, ill. három cikluson át tagja volt. Az MTA Pécsi Akadémiai Bizottság Vízgazdálkodási Munkabizottságának 1994-től több éven át titkára, ill. elnöke volt és számos MTA bizottság munkájában vett részt. 25 éven át volt a Magyar Víziközmű Szövetség szakértője.

A Magyar Hidrológiai Társaságnak 1964. január 1-től, több mint 60 éven át volt tagja, a Baranya megyei területi szervezetnek elnöke és vezetőségi tagja volt 1975–2013 között. Kiemelkedő szakmai munkát végzett az MHT Vízellátási Szakosztályában. Rendszeres előadója volt az MHT vándorgyűléseinek. Társasági munkájáért Pro Aqua emlékérem (2000), Bogdánfy Ödön emlékérem (2006), majd Kvassay Jenő díj (2016) társasági kitüntetésben részesült. A vízgazdálkodás területén végzett csaknem hat évtizedes munkásságáért, társadalmi tevékenységéért, életművének elismeréseként 2022-ben az MHT Tiszteleti tagja kitüntetésben részesült.

Nyugodj békében!

**AmaRex Pro**

 **KSB**

# Robusztus külső. Intelligens belső.

Az új **AmaRex Pro** búvárszivattyú többet tud, kevesebbet igényel:  
Az intelligens öntisztító funkciónak, és az IE5-ös motornak köszönhetően  
karbantartási költsége és energiafogyasztása csökkent.

**Tudjon meg róla többet!**

**Fedezze fel**





# 18. IVÓVÍZBIZTONSÁGI KONFERENCIA 2024. OKTÓBER 2.

**A Magyar Hidrológiai Társaság Víztisztasági és víztechnológiai Szakosztálya  
a 18. Ivóvízbiztonsági konferenciát 2024. október 2-án (szerdán)**

**10 és 15 óra között rendezi.**

**Helyszín:** 1051 Budapest, Sas u. 25. IV. emelet, Magyar Víziközmű Szövetség.

A 18. Ivóvízbiztonsági konferencia témái: a népegészségügyi követelmények áttekintése, az ivóvízellátási lánc kockázat felmérésre, alkalmazott kockázatkezelésre alapozott üzemeltetése, vízkezelő technológiákkal kapcsolatos aktuális kérdések, a szolgáltatott vízminőség biztonságának veszélymegelőzésre alapozott javítása.

#### **Rendezők:**

- MHT Víztisztasági és víztechnológiai Szakosztály,
- MHT Fővárosi Vízművek Üzemi Szervezet

#### **Támogatók:**

- Magyar Víziközmű Szövetség
- BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék
- Víztudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium
- MHT Vízellátási Szakosztály

**A részvétel díjmentes, azonban előzetes regisztrációhoz kötött.**

**A regisztráció és a konferencia tervezett programja az alábbi linken érhető el:**

**<https://forms.gle/m2fTmRSobYriayHU6>**

A terem befogadóképessége korlátozott, ezért a jelentkezéseket az érkezés sorrendjében tudjuk fogadni, és 90 fő elérése esetén lezárjuk a regisztrációt.

## FEJLESZTÉSEK A SZÖVETSÉG TUDÁSTÁRÁBAN, HÍRCSATORNA ARCHIVUMBAN



A MaSzeSz tagok és a Mentor Egyesület tagjai a Szövetség weboldalán érik el a települési vízgazdálkodási témájú előadások, tanulmányok, cikkek gazdag tárházát.

A honlapfejlesztések eredményeként több szempontból fejlesztettük a tudástárát.

Csak MaSzeSz/Mentor tagok számára, bejelentkezést követően érhető el.

Kibővítettük a tudástárát a Hírcsatorna korábbi cikkeivel 2017-re visszamenőleg.

Készítettünk egy Szerzői oldalt, ahol megjelennek a szerzőhöz/előadóhoz kapcsolódó összes tartalmak, egy rövid bemutató profil alatt.

Folyamatosan zajlik a cikkek kulcsszavazása, hogy még hatékonyabbá tegyük a keresést.

Hogyan kell használni:

Belépés a MASZESZ belső felületére:

A Tudástárba a honlap jobb felső sarkában szereplő „Bejelentkezés” gombbal lehet belépni.



Felhasználó e-mail címe (melyet a Maszesz tagi/Mentor egyesületi jelentkezéskor használt)

Egyetemleges jelszó: MASZESZTAG-2024 (Ezt megtarthatja, vagy megváltoztathatja)

Bejelentkezés után a Tudástár a „Tudásközpont” – „Szakmai Tudástár” menüből érhető el.

Itt olvashatók a legfrissebben feltöltött anyagok, illetve lehet a keresőben szűrni rájuk.

Fontos, hogy a kereső érzékeny a kis- és nagybetűkre, ékezetekre. Erre oda kell figyelni a keresőszavak beadásánál.

Az első V keresőnyíl lenyitásánál találjuk a szabadszavas keresést, mely az összefoglaló tartalomban, a címben, illetve a dokumentum tartalmában is keres.

A „Találatok Szűrése” gomb adja ki a keresés eredményét.

A találatok alatt szerepel a „Letölthető dokumentum” és azt követően egy link, melyen keresztül elérhető a feltöltött állomány.

Mindenkinek hasznos keresést, jó munkát kívánunk és kérjük, hogy amennyiben bármilyen észrevételük van a Tudástárral kapcsolatban, hibát találnak, vagy valami nem működik, feltétlenül jelezzék a Szövetség titkárságának (titkarsag@maszesz.hu)!



ÓBUDAI EGYETEM  
REJTŐ SÁNDOR KÖNYVŰIPARI  
ÉS KÖRNYEZETMÉRŐKI KAR

## Az Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Könyvűipari és Környezetmérőki Kar

### „Települési szennyvízgdálkodási szakmérő” szakirányú továbbképzési szakot

indít

**2025. februári kezdéssel.**

A képzés besorolása: ISCED 5B

A képzés időtartama: 3 félév, levelező tagozaton, a konzultációkra blended (kontakt és online) formában, péntek-szombati napokon kerül sor, 3 kontakt és 2 online alkalommal.

A képzés részvételi díja: 350.000.-Ft/félév.

A képzésre főiskolai vagy egyetemi, illetve BSc vagy MSc szintű mérőki végzettséggel lehet elentkezni.

#### **A képzési célja:**

A szakirányú továbbképzés célja a szennyvíz-, és vízgdálkodás szakterületre olyan szakemberek képzése, ill. továbbképzése, akik a korábban megszerzett felsőfokú szakképzettséggük és szakismereteik birtokában képesek a szennyvíz-, és vízgdálkodás szakterületén építési, üzemeltetési, szakértői, beruházási, közigazgatási és vállalkozói munkakörökben a legújabb szakmai tudományos és fejlesztési eredmények követésére és alkalmazására, specialisták a szennyvíz-, és vízgdálkodás területén.

#### **A szakirányú diploma feljogosít:**

- Fejlesztési feladatok önálló megoldására,
- Decentralizált, kis szennyvíztisztítók üzemeltetésére,
- Szakreferensi feladatok ellátására önkormányzatoknál, szakhatóságoknál. stb.
- Projekt menedzseri feladatok ellátására.

A szakirányú diploma igazolja a FIDIC jellegű ismeretek elsajátítását.

A szakirányú továbbképzésben megszerezhető szakképzetség neve: **Települési szennyvízgdálkodási szakmérő**

A képzésről információk: <https://rkk.uni-obuda.hu/szakok/telepulesi-szennyvizgdalkodasi-szakmernok/> illetve 06-30-651-9852 telefonszámon, vagy az alábbi címen kérhető: [bodane.rita@rkk.uni-obuda.hu](mailto:bodane.rita@rkk.uni-obuda.hu)

Elentkezési határidő: **2024. december 10.**

Elentkezni lehet írásban postai vagy online úton a következő címen:

**Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Könyvűipari és Környezetmérőki Kar, Környezetmérőki Intézet**, 1034. Budapest, Doberdó u. 6., vagy online a jelentkezési lap (letölthető: <https://rkk.uni-obuda.hu/szakok/telepulesi-szennyvizgdalkodasi-szakmernok/> ) és kért dokumentumok küldése a következő címre: [bodane.rita@rkk.uni-obuda.hu](mailto:bodane.rita@rkk.uni-obuda.hu)

# Jövőbiztos hidraulika, kiváló hatékonyság

Grundfos SP6" búvárszivattyú



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

**GRUNDFOS** 

# A Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség

2024. évi támogatói:



## HUNGARIAN WATER PARTNERSHIP

A kiadást támogatta a Szövetség székhelyének otthont adó  
Újbuda Önkormányzata és a Bethlen Gábor Alap Zrt.



**Nemzeti  
Együttműködési  
Alap**



MINISZTERELNÖKSÉG



**BETHLEN GÁBOR**  
Alapkezelő Zrt.

**BIOSZEP  
KFT.**

Köszönjük az ágazat elkötelezett támogatását!

