

NEMZETKÖZI ÉS HAZAI PÉLDÁK A KÖRFORGÁSOS VÍZGAZDÁLKODÁSRA

BODÁNE DR. KENDROVICS RITA

ÓBUDAI EGYETEM REJTŐ SÁNDOR KÖNNYŰIPARI ÉS KÖRNYEZETMÉRNÖKI KAR KÖRNYEZETMÉRNÖKI ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYI INTÉZET

Kulcsszavak: körforgásos vízgazdálkodás, szennyvíz újrahasznosítás, vízutánpótlás, „új víz”, klímaváltozás

"Amikor a kút kiszárad,
megismerjük a víz igazi értékét."
Benjamin Franklin (1706-1790)

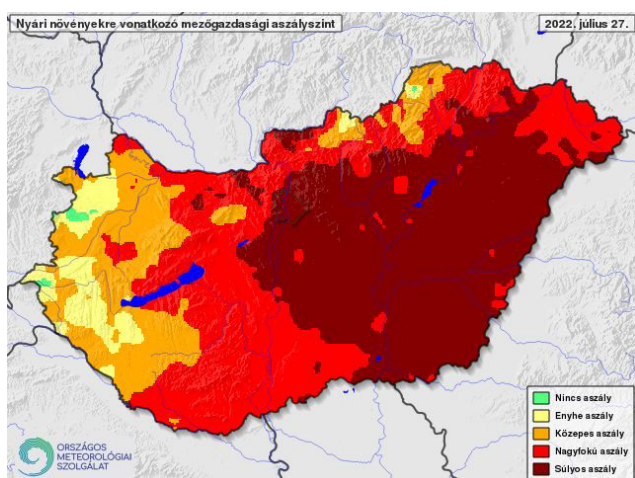
BEVEZETÉS

Az elmúlt időszak eddig nem tapasztalt vízhiánnyal szembesítette a hazai gazdálkodókat, vízügyi szakembereket és természetesen a lakosságot is. Sajtóbeszámolók (2022. június-július) szerint „egyre több településen vízhiány (alacsony víznyomás, akadozó vízszolgáltatás) alakult ki”, locsolási tilalom volt érvényben, mivel „a fokozott vízkivétel miatt nem tudnak feltöltődni a víztározók”, „a települést ellátó kutak vízhozama a szárazság miatt jelentősen lecsökkent”, „a magas nappali hőmérséklet következtében megnövekedett az ivóvíz-felhasználás”, (forrás:hvg.hu) és az okok tovább sorolhatók, melyek a korlátozott vízfogyasztást várták el a településektől, és állították nehézségek elé a vízgazdálkodással foglalkozó szakembereket. A hazai folyók, tavak vízállása negatív rekordokat döntögetett, több kisvízfolyás kiszáradt (1. kép) a súlyos csapadékhiány, illetve az aszályhajlamot fokozó hőhullámok miatt.



1.kép Kiszáradt az Aranyhegyi-patak Nánási út híd alatti és torkolati szakasza (forrás: <https://www.facebook.com/groups/114214508614018/posts/5301476149887802/>)

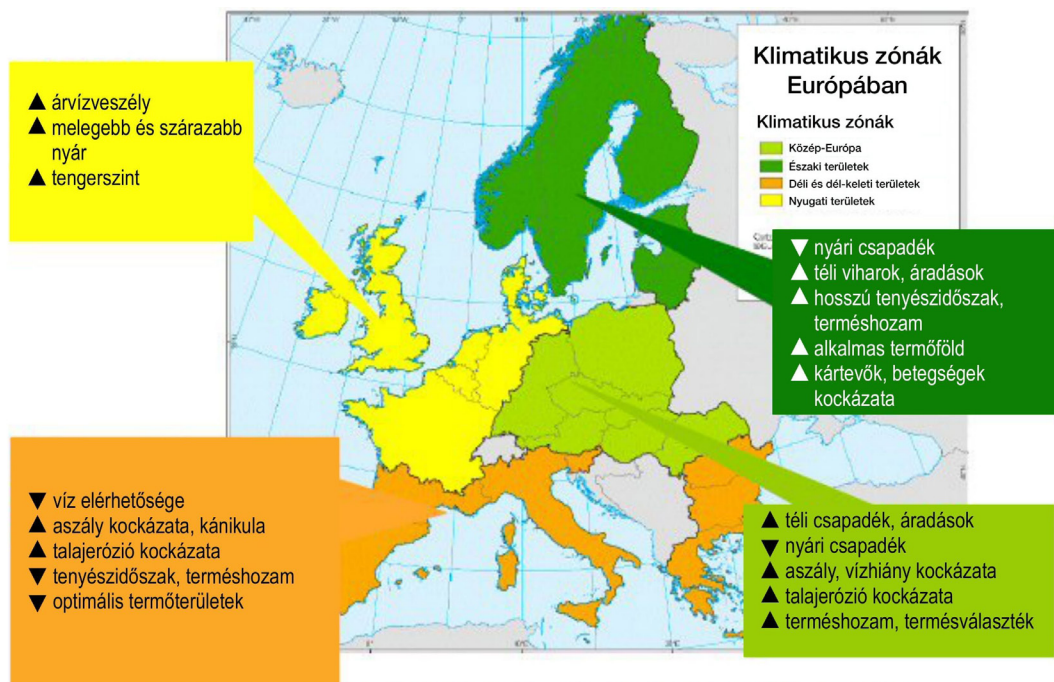
A klímaváltozással kapcsolatos korábbi megállapítások, előre jelzett tendenciák kezdenek valóságossá válni. Az elmúlt időszakban tapasztalt egyre melegebb nyarak, gyakoribb és intenzívebb hőhullámok erősítik az ariditási hajlamot. A Meteorológiai Szolgálat által készített 2022-es tanulmány szerint a legsúlyosabb aszály az Alföld középső és tiszántúli részét érinti. (1. ábra) (Szentés, 2022)



1. ábra Aszályhelyzet Magyarországon 2022. július 27-én (forrás: <https://www.met.hu/idojaras/agrometeorologia/aszalyinfo/>)

A klímaváltozással kapcsolatos kutatások megerősítik és ma már saját tapasztalataink is alátámasztják, hogy az éghajlatváltozás következtében növekszik a szélsőséges helyzetek valószínűsége. A Stockholm Környezetvédelmi Intézet közel-múltban készült tanulmánya a Balti-tengeri régió éghajlatváltozásának 2020-2050 közötti időszakra kiterjedően elemzi a lehetséges hatásokat. Kutatásuk szerint hazánkat is érintő hatások elsősorban a nyári csapadékmennyiség csökkenése, ezáltal a növekvő szárazság és aszályos területek növekedése, téli időszakban a növekvő csapadék és az áradások intenzívebb megjelenése várható. (2. ábra) Az ezáltal is növekvő talajerózió és a nyári időszakban rendelkezésre álló vízmennyiségek a mezőgazdaságot is hátrányosan érintik. Mindezek a hatások a jövőben egyre nagyobb mértékű alkalmazkodóképességet várnak el az egyes országoktól. (Marnie Graham-Neil Powell, 2012)

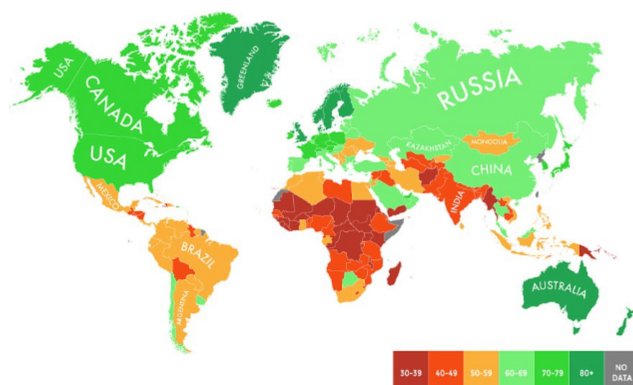
Ezt az alkalmazkodó képességet vizsgálta egy amerikai (University of Notre Dame in Indiana)



2. ábra Éghajlatváltozás lehetséges hatásai 2020-2050 között (forrás: Marnie Graham-Neil Powell, 2012)

kutatás, melyben 192 ország sérülékenységét elemezték és létrehoztak egy globális adaptációs indexet (ND-Gain Index), mely számszerűsíti az alkalmazkodóképességet több területre vonatkoztatva, pl. egészségügy, víz, ökoszisztéma, élelmiszer, infrastruktúra, valamint a gazdaság, kormányzati rendszerek és a társadalom válaszkészsége. A kutatási eredmények alapján elkészített térképek (3. és 4. ábra) jól vizualizálják azokat az országokat, amelyek a legjobban felkészültek az éghajlatváltozás kezelésére. A skandináv országok (ND Gain Index Svédország 81,6; ND-Gain Index 81,6; Norvégia 82,7; Dánia 81,4), valamint Finnország (81,5) és az Egyesült Királyság (80) magas pontszámot értek el. Németország 78,8 index értékkel még jó helyzetben van, de az afrikai, dél-amerikai és dél-ázsiai országok nagyon sérülékenyek, nehezen tudnak alkalmazkodni a megváltozó körülményekhez, melyet a 34-35,6 index értékeik támasztanak alá. (Jonathan O'Callaghan, 2015) Magyarország közepesen alkalmazkodóképes, de pl. víz tekintetében a 192 ország közül a 156. helyet foglalja el, vagyis ez egyik komoly sérülékeny pontunk, amit már érzékelhetünk a csapadékok mennyiségének változásában vagy az aszályos időszakok növekedésében is. Hazánkban a klímaváltozás hatásai elsősorban az ivóvízhez, öntözővízhez és bizonyos élelmiszerekhez való hozzáférést, az élelmiszerárakat és az élőhelyünk, lakóhelyünk, életkörülményeink területén érzékeltetik majd jelentős hatásukat a közeljövőben. (*Fenntarthatóság és környezetvédelem*, 2015)

Mindezeket figyelembe véve egyre sürgetőbbé válik a megfelelő szakmai háttér tanulmányokon, adatokon alapuló döntéshozatal és hatékonyabb intézkedési eljárás. A szennyvíz újrahasznosítása, a víz helyben tartása, a hatékony csapadékvíz gazdálkodás, mint integrált vízgazdálkodási elemek járulhatnak hozzá az éghajlatváltozás okozta hatások mérsékléséhez, a klímaváltozás hatására



3. ábra Globális adaptációs index (ND-Gain Index) az afrikai, dél-amerikai és dél-ázsiai országokban (Jonathan O'Callaghan (2015))



4. ábra Globális adaptációs index (ND-Gain Index) Skandináv országokban (Jonathan O'Callaghan, 2015)

kialakult egyre gyakoribb és szélsőségesebb viszonyokhoz való rugalmas alkalmazkodáshoz.

A továbbiakban néhány nemzetközi és hazai példát kiragadva kerül bemutatásra a tisztított szennyvíz közvetett és közvetlen hasznosításával megvalósuló körforgásos vízgazdálkodás, melynek alapja a vízkészletekkel való tudatos gazdálkodás.

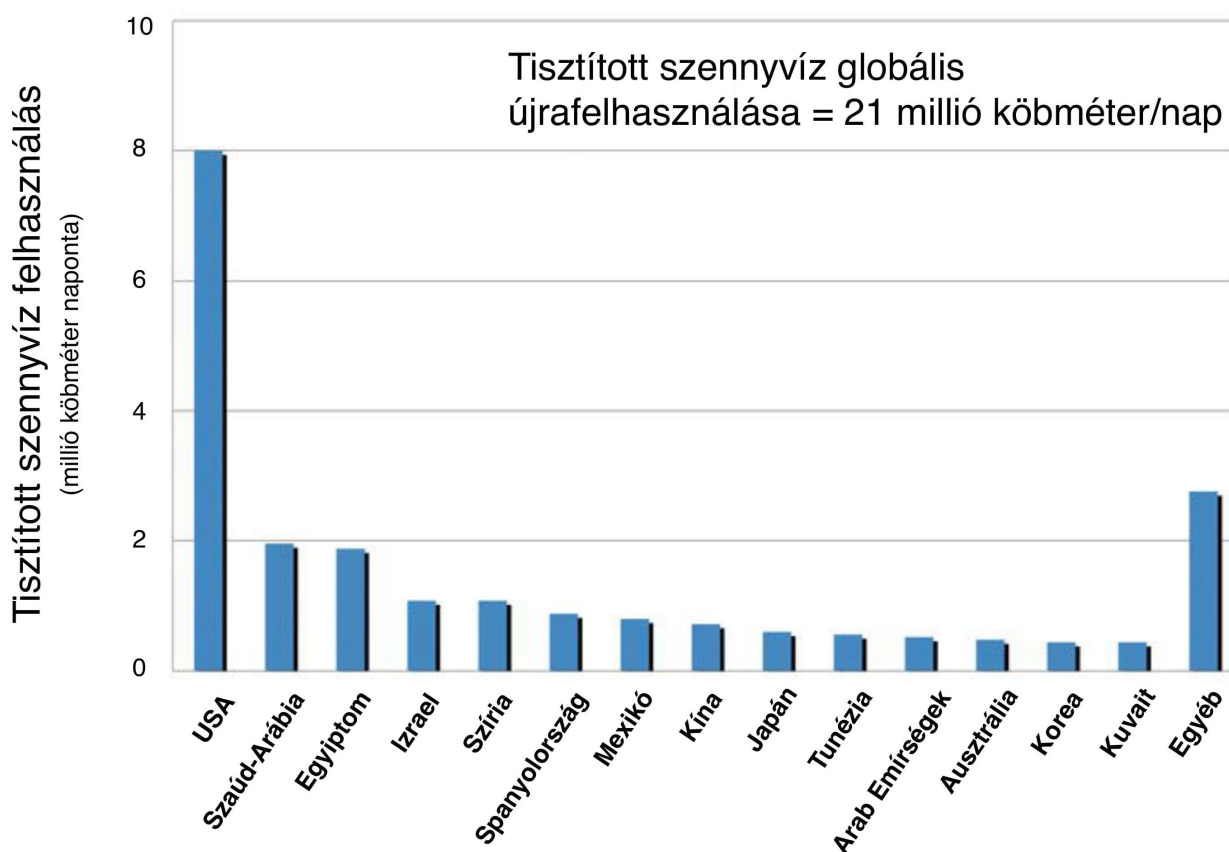
KÖRFORGÁSOS GAZDÁLKODÁS - A SZENNYVÍZ ÚJRAHASZNOSÍTÁSA

A körforgásos gazdálkodás a hulladék, a kibocsátás és az energiaveszteség minimálisra csökkentését

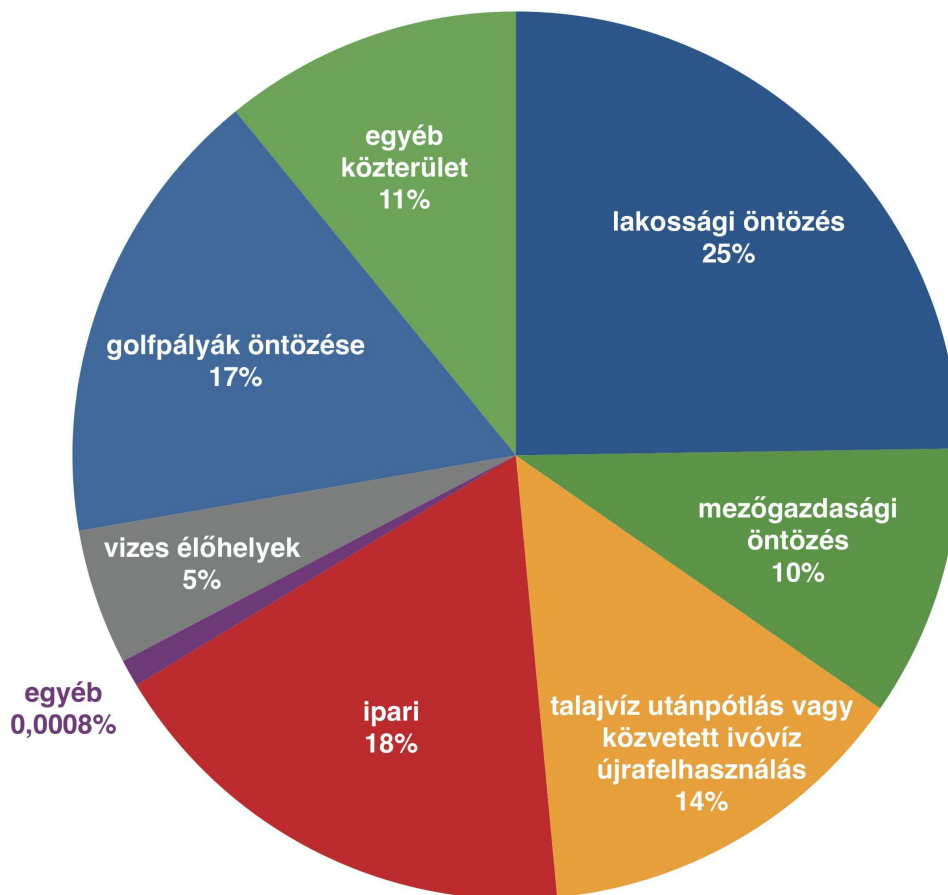
célozva teremt előnyt a gazdaságnak és a természetnek is. Fő célja, hogy a felhasznált termékek és alapanyagok értéküket a lehető leghosszabb ideig megőrizték, a hulladéktermelés és az erőforrás-felhasználás szintje minimális legyen, az élettartamuk végét elérte termékekben lévő erőforrások pedig bent maradjanak a gazdaságban az ismételt felhasználás révén további értéket teremtve. (Allan Macarthur Foundation, 2015) Jól beilleszthető ebbe a zárt (closed-loop) anyag- és energiaáramlás körbe a kezelt szennyvíz újrahasználata, mivel növeli a felhasználható vízkészletet és ösztönzi a hatékony vízfelhasználást. A vízfelhasználás során elhasználódott víz, a szennyvíz térben és időben állandóan rendelkezésre álló vízforrásnak tekinthető, számos célra felhasználható amennyiben megfelel a felhasználási cél szerinti minőségi előírásoknak, pl. parkok, golfpályák, temetők locsolására, szökőkutak, városi tavak vízellátáshoz javítva

a mikroklimát, WC öblítésre, mezőgazdaságban takarmánynövények, rostonövények, legelők, öntözésére, vagy mesterséges vizes élőhelyek vízpótlására, patakok táplálására, talajvíz pótlására, illetve ipari folyamatokon belül, pl. hűtőrendszerekben, kazánvízként, technológiai vízként, építkezések vízellátására. (Major Veronika, 2021)

Az 5. ábra az újrahasznosított tisztított szennyvíz mennyiségét mutatja országonként. Az összes újrahasznosított mennyiség 21 millió m³/nap, ezen belül a legnagyobb újrahasznosító az USA, ahol elsősorban mezőgazdasági öntözésre és talajvíz utánpótlásra használják fel a tisztított szennyvizet. A 6. ábra Florida újrahasznosított szennyvíz felhasználásnak megoszlását szemlélteti és elsősorban az öntözésben való megjelenéssel mutat jó példát a hasznosításra.



5. ábra Újr hasznosított tisztított szennyvíz országonként és globális mennyisége (forrás: Elena Galkina-Olesya Vasyutin, 2018)



6.ábra Tisztított szennyvíz újrahasznosítása Floridában (forrás: Elena Galkina-Olesya Vasyutin, 2018)

Jellemzően az édesvízhiányos országokban kerül előtérbe az öntözés. Ezen a területen kiemelkedő Izrael vízgazdálkodása, ahol az 50-es években kezdték hasznosítani a szennyvizet öntözővízként és az azóta eltelt idő alatt megháromszorozódott a felhasznált mennyiség. 2015-ben elérte a 400 millió m³-t, ami az összes szennyvíz 86%-át jelenti. Ma már a keletkezett szennyvíz több mint 80%-át hasznosítják a mezőgazdaságban, ezzel az agrárium teljes vízigényének 55%-át fedezik. Az öntözőrendszerek kb. fele felszín alatti csepegtető rendszerű, ily módon csökkentik a párolgási veszteséget, a talajnedvesség érzékelők használatával pedig pontosan meg tudják határozni a talaj vízigényét, ezzel optimalizálva a felhasznált öntözővíz mennyiségét. (Kun Ágnes, 2017)

Mint ez a példa is mutatja a „kellően tisztított” szennyvíz – melyet ez esetben már „új víz”-nek definiál Prof. Juhász Endre – „nem csupán alternatív vízkészlet, hanem pozitív, akár térségi, akár települési vízgazdálkodási elem, amivel különösen az ariditásra hajlamos területeken feltétlen számolni, azzal gazdálkodni kell, az általa kínált előnyöket ki kell használni.” (Juhász Endre, 2020)

Japánban a 80-as években kezdődött a nagyobb mértékű újrahasznosítás. Az első regionális víz visszaforgatási rendszer beüzemelésének kiváltó oka az 1978-as aszály volt. Ekkor kezdték alkalmazni a biológiailag tisztított szennyvizet homokszűrést, ózonozást és klórozást követően nyilvános létesítmények, WC-k öblítésre és zöldövezetek öntözésére. (Haruka Takeuchi-Hiroaki Tanaka, 2020)

Ország, állam	A fogyasztás megosztása [%]			Az újrahasznosítás módja			Megjegyzés
	városi	ipari	agrár	öntözés	városi víz	ivóvíz	
Ausztrália	65	2	33	++	+		11 %-os összes hasznosítás
Ciprus	20	2	78	+++			A vízkészlet szennyezés megelőzése
Franciaország	16	69	15	++	+		Földművelési hasznosítás, korszerű módszerek
India	3	4	93	++			Nyers szennyvíz használata
Izrael	16	5	79	+++	++		70 %-os hasznosítás, intenzív fejlesztés, ivóvízként felhasználás nem engedélyezett
Japán	17	33	50	++	+++	+	33% hasznosítás WC öblítésre, kettős elosztó rendszer
Kuvait	64	32	4	+	++		Vízhiány, sótalanítás
Namíbia	6	12	82	+		+	Közvetlen ivóvíztermelés
Mexikó	6	8	86	++			Nyers szennyvíz használata
Marokkó	6	3	92	+			Nyers szennyvíz használata
Peru	19	9	72	++			Hasznosítás az ország sivatagos részén
Dél-Afrikai Közt.	12	36	52	++	+		Hasznosítás ivóvízként nem engedélyezett
Szaúd-Arábia	45	8	47	++	++		10 %-os hasznosítás, tengervíz sótalanítás
Spanyolország	12	26	62	++	+		Tartományi szabványok
Omán	3	3	94	++	+		Vízhiány, sótalanítás
Tunézia	13	7	80	++			15 %-os hasznosítás
Arab Emírségek	11	9	80	+	++		Vízhiány, sótalanítás. Kettős elosztóhálózat
USA -Arizona				++ ++	+	+	Állami szabványok Korlátozások vírusok miatt Talajvízfeltöltés, kettős hálózat Kettős hálózat
-Kalifornia	13	45	42	+++	+	++	
-Florida				++	++	+	

Megj.: +++ a felhasználás mértéke erőteljes ebben az ágazatban

++ közepes hasznosítási mérték

+hasznosítás van az adott területen, de nem ez a terület a legfrekvenciáltabb

1.táblázat: A kommunális szennyvíz újrahasznosításának jelenléte a világ országaiban (forrás: Dr. Boros Tiborné, 2004)

Az 1. táblázat 1990-1994 között mutatja a legnagyobb szennyvíz újrahasznosító országokat és azon belül a hasznosítás főbb területeit.

A kezelt szennyvíz nem csak víz utánpótlásként lehet része a körforgásnak, hanem a benne lévő számos anyag pl. tápanyagok, szerves, szervetlen vegyületek, biomolekulák, fémek kinyerése és hasznosítása, vagy mint hőenergia, illetve a biogázhasznosítás során nyert elektromos energia formájában, beleértve a szennyvíztisztítás során keletkező szennyvíziszapot is, sokoldalú lehetőséget biztosítva a körforgás megvalósítására. (Melicz Zoltán, 2021)

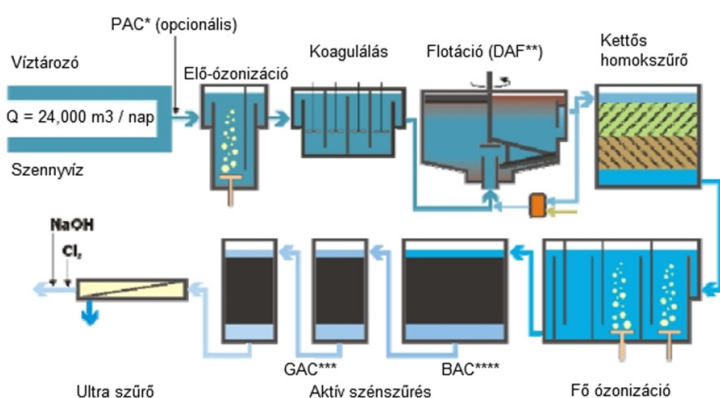
A vízkészletek megóvását, pótlását célzó újrahasznosítás történhet közvetlenül, pl. ivóvíz előállítása nagy hatékonyságú tisztítási technológiával, vagy közvetett úton a felszín alatti vízhozó réteg feltöltésével és ezen keresztül ivóvíz előállítással (talajvízdúsítással), illetve felhasználható a mezőgazdaságban, iparban és városi környezetben, továbbá a szennyvíz tisztítása során keletkező szennyvíziszap mezőgazdasági, energetikai hasznosításával. Bármilyen területen is kerül újrahasznosításra a tisztított szennyvíz a legfőbb követelmény az emberi egészség, a talaj, a növények, valamint a talajvíz védelme, továbbá a tárolási, szállítási lehetőségek és feltételek megteremtése, valamint a megfelelő társadalmi tájékoztatás.

KÖZVETLEN IVÓVÍZ ELŐÁLLÍTÁS WINDHOEK (NAMÍBIA) VA TECH WABAG GMBH NGWRP

A több fokozatú, nagy hatékonyságú tisztítás során előkezelt szennyvizet használnak fel a világ egyik legszárazabb országa, Namíbia fővárosának vízművében. A város teljes éves vízfogyasztása megközelítőleg 21 millió m³/év, melyhez szükséges víz egy része felszíni vízből (Swakoppoort és Omatako víztározó), fúrt kutakból (50 db) kitermelt felszín alatti

vízből, valamint a megfelelő kezeléssel tisztított szennyvízből származik. (J. Lahnsteiner - G. Lempert, 2007)

Csapadékosabb években a felszíni víz biztosítja ugyan a vízigények kielégítését, de az aszályos időszakok alatt szükség van a felszín alatti és a tisztított szennyvíz utánpótlásra is. Az NGWRP kapacitása 7,5 millió m³/év, jelenleg a város ebből a mennyiségből 5,5 millió m³ vizet használ fel, vagyis a teljes vízigény közel negyedét szolgáltatja. Az NGWRP Windhoek legnagyobb szennyvíztisztító telepén, a Gammams Water Care Worksben (GWCW) előkezelt kommunális szennyvizet a víztározóból nyert felszíni vízzel keverve több fokozatú, nagy hatékonyságú technológián keresztül állítja elő az ivóvíz minőségű vizet. (7. ábra)



* PAC: powdered activated carbon - porlalkú aktív szén, az angol megnevezés rövidítése terjedt el a szakmai szóhasználatban

** DAF: dissolved air flotation - oldott levegős flotáció

*** GAC: granulated activated carbon - szemcsés aktív szén

**** BAC: biological activated carbon - biológiai aktív szén

7. ábra Közvetlen ivóvíz előállítási technológia Windhoek (Namíbia) VA TECH WABAG GmbH NGWRP (forrás: J. Lahnsteiner and G. Lempert, 2007)

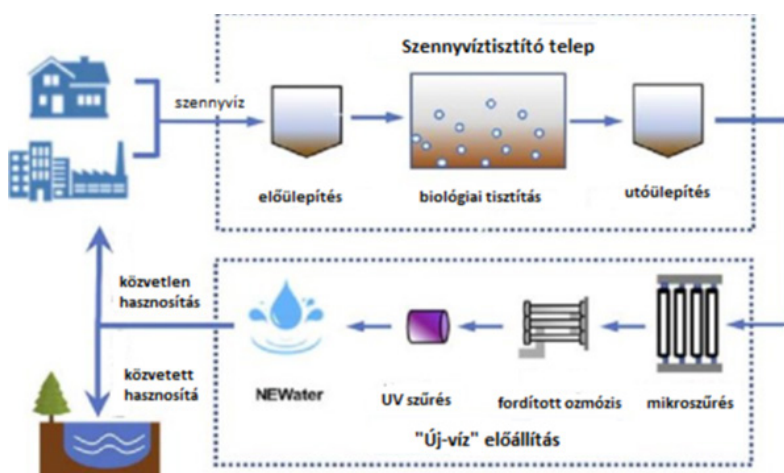
Az előállított víz minősége minden tekintetben megfelel a legszigorúbb határtértékeknek is.

KÖZVETETT IVÓVÍZ ÉS KÖZVETLEN IPARI VÍZ HASZNOSÍTÁS SZINGAPÚRBAN, NEWATER TECHNOLOGIA

Nem egyedülálló a namíbiai példa, mely a szennyvízkezelésben az "eltávolítás" helyett a "visszanyerés" irányába történő elmozdulást mutatja. Szingapúrban teljes vízkörforgást megvalósítva állítanak elő „új-vizet” (NEWater) melynek egy részét közvetlenül, nem ivóvíz céljára, illetve közvetetten ivóvízként is használnak. Közvetlen használatban az ipari vízigények ivóvízminőségben történő kielégítése a cél, így csökkentve az ipar csapvízfogyasztását. A közvetett felhasználás során a NEWater-t felszíni víztestekbe (pl. víztározókba) vezetik be, ahol a természetes öntisztulási folyamatokat követően egy víztisztító üzemben kezelik, majd a vízhalózaton keresztül kerül a fogyasztókhoz. (8. ábra) Az előzmények több mint 20 évre vezetnek vissza. Az 1970-es években membrántechnológiát alkalmazva indult a szennyvíz újrahasznosítás, mely azonban akkor még nem tűnt gazdaságilag kifizetődőnek, majd 1990-ben kísérleti jelleggel indult a technológia és 10 év múlva, 2000-től már az „új-víz” előállítás nagy része ezzel az eljárással történik Szingapúrban.

Jelenleg a vízigény 30% -át e technológiával előállított ivóvízzel biztosítják és az elkövetkezendő 40 évben 55 %-ig kívánják emelni az így előállított ivóvíz részesedést. (Melicz Zoltán, 2021) Napjainkban már 5 telephelyen tisztítják és hasznosítják a szennyvizet, megvalósítva ezzel a tényleges zárt vízkörforgást, melyben a csapadékvíz-gazdálkodás, mint integrált vízgazdálkodási elem is részt vesz. (9. ábra) A víz közel 50%-át a szomszédos malajziai Johorból importálják, mely ugyan olcsó, viszont a kezelése költséges. További nyersvízforrást jelent az újrahasznosított szennyvíz (NEWater), kb. mintegy 25%-ban a sótalanított tengervíz, mely azonban a magas energiaigénye miatt költséges vízforrás. Ezen felül a víztározókban felfogott csapadékvíz egészíti ki a másik három által hagyott hiányt. (Ailing J. Bressman , 2020)

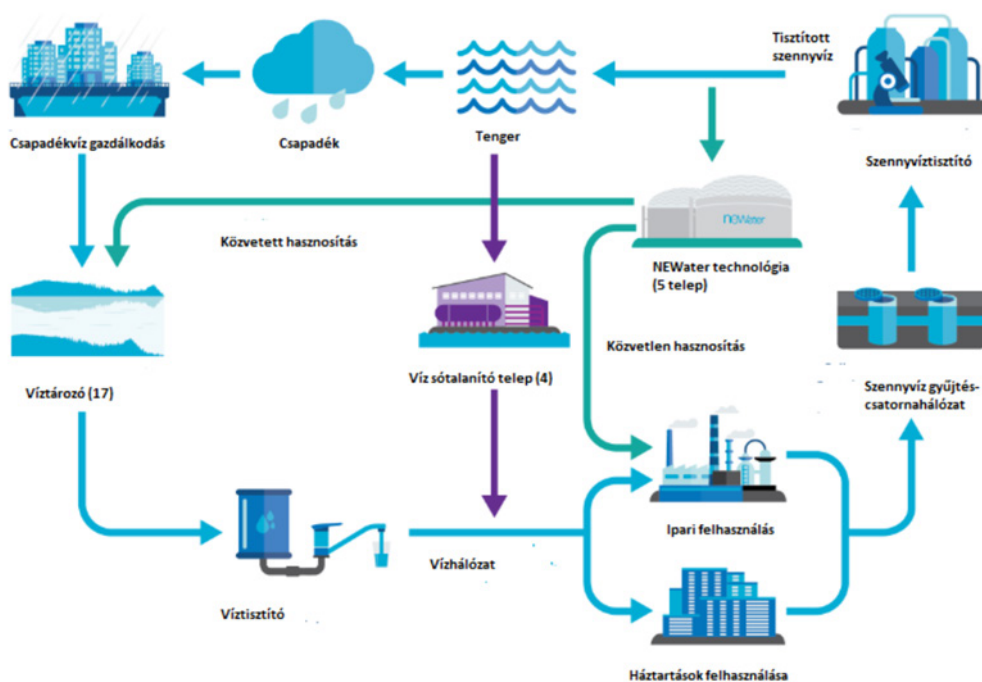
A NEWater sikerének kulcsa az erős és jól koordinált vízügyi kormányzás és politika volt, melyben a körforgásos vízgazdálkodásnak, ezen belül a víz újrafelhasználásának kiemelkedő szerep jutott. Szingapúr 2001-ben már a világ azon kevés országai közé tartozott, ahol külön Vízügyi Hivatal (Public Utilities Board, PUB) működött, mely nagy szerepet játszott a NEWater rendszer megvalósításában. Mindemellett fontosnak



8. ábra NEWater víztisztítási technológia Szingapúrban (forrás: Meng Zhang, 2019)

tartották a nyilvánosságot, a tájékoztatást is, melynek érdekében létrehozták a NEWater Látogatóközpontot, melynek legfőbb feladata az oktatás és információszolgáltatás.

menységének 8,2%-áról 9,5%-ra emelkedett és további növekedést prognosztizálnak, melyre nagy szükség van tekintettel a népesség növekedéssel is összefüggő vízhiányra. (Meng Zhang, 2019)



9.ábra Közvetett szennyvízhasznosítás az ivóvízellátásban, Szingapúr, NEWater technológia (forrás: Ailing J. Bressman, 2020)

Hasonló filozófiát követ Kína is a vízviszanyerés tekintetében, miután egyre több város szenved a növekvő vízhiánytól a korlátozott vízkészletek miatt. Miután Kínában a közel 4000 kommunális szennyvíztisztító telepen kezelt kommunális szennyvíz mennyisége 2015-ben elérte a $46,7 \times 10^9 \text{ m}^3$ -t, így a vízgazdálkodással foglalkozó szakemberek nagy potenciált látnak a visszanyert szennyvíz újrafelhasználásában. 2013-ban 571 vízviszanyerő üzemben (WRP) a hagyományos szennyvízkezelésből származó másodlagosan tisztított szennyvízből szigorú határértékek betartásával előállított vízzel elsősorban az ipari vízigényeket fedezik, valamint biztosítják a mezőgazdaság számára az öntözővizet. Ezen felül WC öblítővízként is hasznosítják, városi zöldterületek öntözését és építkezések vízigényének kielégítését is biztosítják. A visszanyert víz mennyisége egy év (2014-2015) alatt a kezelt szennyvíz

Kína számára a szingapúri modell követése adhat esélyt a vízhiány felszámolására, amennyiben megfelelő politikai támogatást kap, amit magasszintű oktatási tevékenység kísér. (Ailing J. Bressman, 2020)

KÖZVETETT IVÓVÍZ ELŐÁLLÍTÁS SOIL AQUIFER TREATMENT (SAT) TECHNOLÓGIÁVAL

Az USA-ban fejlesztették ki és számos országban alkalmazzák talajvíz utánpótlásra a SAT technológiát, mely egy fenntartható és természetes szennyvíztisztítási eljárás. Az előkezelt, biológiailag tisztított szennyvíz a víztartó rétegen keresztül beszivároghatva éri el a talajvizet (10. ábra) miközben mechanikai – abszorpció, kiülepedés -, biológiai folyamatok játszódnak le és a víz minősége mérési adatokkal igazolhatóan,

az átszivárgási mélység függvényében egyre jobb lesz, a szennyezőanyagok koncentrációja csökken. Az ellenőrzött beszivárgás során természetes talajszűrési folyamatok zajlanak le, majd a talajvízzel kevert és a telített zónában tárolt víz visszanyerése kutakon keresztül valósul meg. A talajvíztartó rétegekben történő kezelés a talajvíz mesterséges utánpótlására szolgál, hogy egy későbbi szakaszban ismét édesvizet lehessen kivonni, vagy pedig gátként működik, hogy megakadályozza a sós víz vagy szennyező anyagok bejutását a víztartó rétegbe. Az eljárás hátránya a beszivárgást megakadályozó kolmatáció, melyet figyelembe kell venni a működés biztonságos fenntartása érdekében. A technológia során a szennyezőanyagok eltávolításának hatékonysága a tartózkodási idő, a megtett út és az előkezelés függvénye. A technológia alkalmazásának feltétele az arra alkalmas talajminőség, talaj összetétel, mely kapcsán kísérletekkel bizonyították, hogy a homokos vályogos talaj biztosítja a leghatékonyabb tisztítást. (Gary Amy - Jörg Drewes, 2007)

Napjainkban a legnagyobb SAT alkalmazó Izrael, ahol Shafdan szennyvíztisztító telepén 1970-ben kezdték el alkalmazni a biológiai fokozattal előkezelt szennyvíz nyitott tavakon keresztüli beszivárogtatását ezzel megvalósítva egy teljes körű vízviszaforgatási rendszert közvetett ivóvíz célú újrafelhasználásra vagy korlátlan öntözésre alkalmas vízminőség előállítására. A négy napig tartó ciklus alatt a szerves anyagok (BOD), az összes szuszpendált szilárd anyag (TSS), az ammónia, a nitrogén és a foszfor 90%-a kerül eltávolításra. (Risch Tratschin) Ma a Shafdan üzem a SAT technológiát nanoszűrővel kombinálva alkalmazza, mely a talajhasználat, az időparaméterek és a vízminőség szempontjából is hatékonyabbnak bizonyult a hagyományos SAT technológiával, illetve annak ultraszűrővel kiegészített verziójával szemben. Az így megvalósuló technológia lehetővé teszi a mikroorganizmusok és a mikroszennyező anyagok gyors és hatékony eltávolítását, aminek eredményeképpen iható minőségű és öntözésre alkalmas víz állítható elő.



10. ábra SAT technológia (forrás: Gary Amy - Jörg Drewes, 2007)

WEST BASIN KOMPLEX SZENNYVÍZKEZELŐ TELEP KALIFORNIA

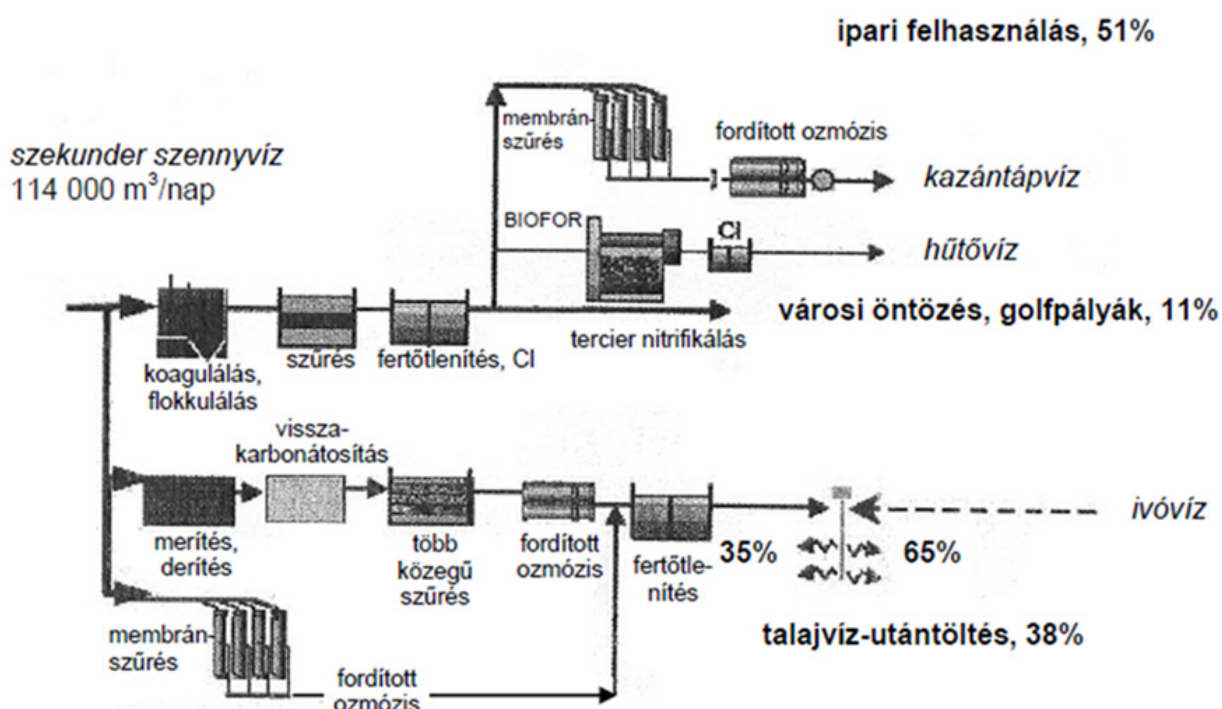
A kaliforniai West Basin telepekre (jelenleg 20 telephely) beérkező biológiailag tisztított szennyvíz komplex hasznosítása valósul meg naponta 114 000 m³ mennyiségben Los Angeles megye 17 városában és azok környékén. (Todd Winslow, 2021) Elsősorban ipari igényeket elégítenek ki, melyet nagyobb mértékben olajfinomítókban hasznosítanak hűtővízként (51%), továbbá kazánvízként, illetve harmadfokú tisztítást követően öntözővízként (11%). Az ivóvízszabványoknak megfelelő minőségben előállított vizet ivóvízzel keverve talajvíz utánpótlásra, elsősorban a sós víz betörés elleni védekezésben (38%) hasznosítják. (11. ábra)

SZENNYVÍZ ÖNTÖZÉS, ÚJRAHASZNOSÍTÁS ENERGIAÜLTETVÉNYEN

A szennyvíz öntözővízként való hasznosítása csökkenti az édesvíz felhasznált mennyiségét,

ezáltal a vízkészletek fenntarthatóságát biztosítja. Figyelembe véve tápanyagtartalmát is további jelentős előnyökkel járhat felhasználása, mivel növeli a mezőgazdasági termelést, lehetővé teszi a szennyvízben lévő tápanyagok újrahasznosítását, ezáltal kedvező hatással van a talaj fizikai, kémiai és biológiai állapotára. Ahogy Prof. Ligetvári Ferenc megfogalmazta: „A szennyvízöntözés különleges öntözés. Különösen jelentős az a körülmény, hogy a szennyvízöntözés segítségével úgy tudjuk távoltartani a felszíni és a felszín alatt vizektől a keletkező szennyező anyagokat, hogy egyidejűleg a velük együtt lévő hasznos összetevők hasznosulhassanak.” Elvileg, Magyarországon előtisztított szennyvízzel mintegy 200 000 ha területet (300 mm/ha) lehetne öntözni. (Ligetvári Ferenc, 2018)

Az öntözéssel járó előnyök csak a szennyvíz és a talaj pontos összetételének ismeretében,



11. ábra Szennyvíz újrahasznosítása Kaliforniában (Boros Tiborné, 2004)

ellenőrzött körülmények között megvalósított felhasználás mellett biztosíthatók, melyhez a jogszabályi háttér (hazánkban az 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet) elengedhetetlen. A rendelet ezzel kapcsolatban az alábbiakat írja elő: *„A felhasználható szennyvíz és a folyékony szennyvíziszap mennyiségét elsősorban a talaj vízgazdálkodási tulajdonságai, a vízháztartási mérleg, a szennyvíz és a folyékony szennyvíziszap mérgező (toxikus) elem és károsanyag-, valamint tápanyagtartalma, továbbá a természeti kívánt növény víz- és tápanyag- (elsősorban nitrogén) igénye alapján kell meghatározni.”*

Számos e témában készült tanulmány hangsúlyozza, hogy alternatív vízforrásnak tekinthető, de nem szabad elfeledkezni a veszélyekről. Éppen ezért a jogszabály az alábbiak szerint rendelkezik: *„Tisztítatlan szennyvíz, nyersiszap, valamint a kezeletlen települési folyékony hulladék vagy más kezeletlen iszap a mezőgazdaságban nem használható fel.”*

Kevésbé kutatott terület még, hogy a fertőtlenített szennyvízzel talajba kijutatott klór milyen módon befolyásolja a talaj minőségét, elsősorban a talaj mikrobiális összetételét. Jelenleg a legtöbb tanulmány a leggyakoribb környezeti kockázatnak a talaj szikesedését tartja. Fontos lenne minél több kutatási eredménnyel bizonyítani a hatásokat, hogy ezáltal is meggyőzően alátámaszthatók legyenek a hasznosítással járó előnyök, így érhető el ugyanis a nagyobb társadalmi elfogadottság.

A szennyvíz öntözés hazánkban az 1960-as években indult a nyárfás ültetvények telepítésével, melyek azóta is elsősorban a tisztított szennyvíz elhelyezést szolgálják (Tóth Tamás, 2021), de néhány telep jó példát mutat a szennyvízben lévő tápanyagok hasznosítására pl.

haszonnövény öntözés (pl. Kecskemét, Cegléd stb.), vagy energiaültetvény öntözés (pl. Dunavarsány) kapcsán is. Ez utóbbi különösen napjainkban pedig igen optimális megoldásnak tűnhet, mivel egyrészt a klímaváltozás kapcsán a vízhiányra nyújt alternatívát és mindemellett biomassza termelésre is lehetőséget ad. A mechanikailag tisztított szennyvíz ily módon az energia árának csökkentésében is szerepet játszik melynek különösen napjainkban értékelődött fel a szerepe. Az ily módon megtermelt biomassza hazai viszonylatban reális alternatívaként állhat rendelkezésre. (Ligetvári Ferenc, 2017)

Svédország az 1970-es olajválságot követően kezdett ebben az alternatívában gondolkodni, és telepített fűzfa ültetvényeket, melyek víz és tápanyag ellátását tisztított szennyvíz öntözéssel oldotta meg. A napjainkban közel 16 000 ha ültetvényen a legtöbb gazdálkodó a szennyvíziszap és a biomassza égetés során keletkező hamut is hasznosítja. (Kun Ágnes, 2017)

Kågeröd városában 1997-ben kezdték alkalmazni a biológiailag tisztított lakossági és tejipari szennyvíz öntözéses hasznosítását a tisztító telep mellé telepített 13 ha-os energifűz ültetvényen, ahol elhelyezésre kerül a tisztítás során keletkező szennyvíziszap is. Folyamatos vizsgálatokkal igazolták, hogy napi 6 mm-es szennyvízterhelés mellett legnagyobb a hozam, hektáronként évi 10-13 tonna. A mérési adatok alátámasztották, hogy az evapotranspirációs együtthatót háromszorosan meghaladó terhelés (12 mm/nap) és a 175 kg N/ha terhelés sem befolyásolta hátrányosan a biomassza termelődést, továbbá a felszín alatti vizek sem szennyeződtek el. (Peter Ridderstolpe, 2007) Hasonló példát találunk Közép-Svédország Enköping városában, ahol a szennyvíziszap

víztelenítése során a dekantált vizet hasznosítják egy 75 hektáros fűzfaültetvényen. (2. kép) A víztelenítésből származó vizet nem vezetik vissza a tisztítási folyamatba, hanem újrahasznosítják, így a tisztító nitrogénterhelését 25%-kal csökkentve és tápanyagként hasznosítva a biomasszatermelésben. Május és szeptember között a szennyvizet is csepegtetőrendszerű öntözési technológiával a fűzfaültetvényen hasznosítják. A megtermelt biomasszát a helyi távfűtőműben égetik el energiát nyerve és az ott keletkező hamu is az ültetvényen hasznosul. (Gustav Melin)

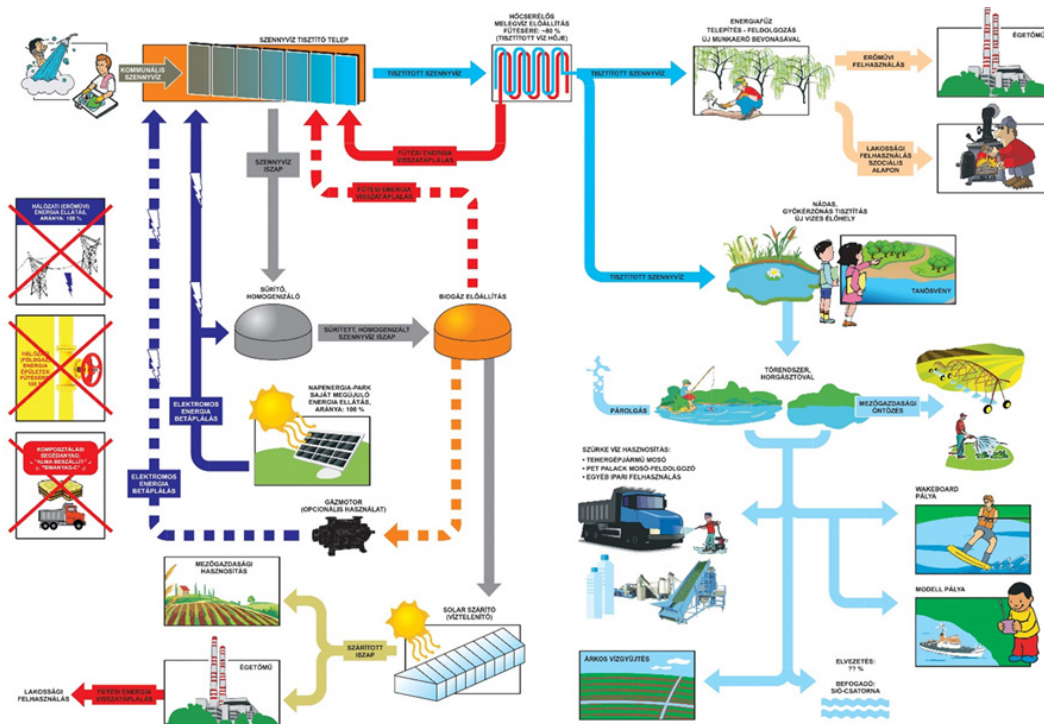


2.kép Enköping, szennyvíziszap víztelenítés (Gustav Melin)

INNOVATÍV HAZAI TERV SZEKSZÁRD VÁROS TELEPÜLÉSI SZENNYVIZÉNEK KÖRNYEZETBARÁT KOMPLEX ÚJRAHASZNOSÍTÁSÁRA

Az előzőekben bemutatott példákhoz hasonló, körforgás megvalósítására fókuszál az E.R.Ö.V. Víziközmű Zrt. szekszárdi szennyvíztisztító telep

is, ahol a szakemberek egyedi innovatív, a térségi integrált vízgazdálkodás elveit tartalmazó tervet dolgoztak ki 2018-ban a tisztított szennyvíz helybentartására, hasznosítására. Elsődleges cél a Csörge-tavi Eco Park kialakítása horgásztó-rendszerrel, és egy olyan tanösvény létrehozása, mely húsz hektár nagyságban

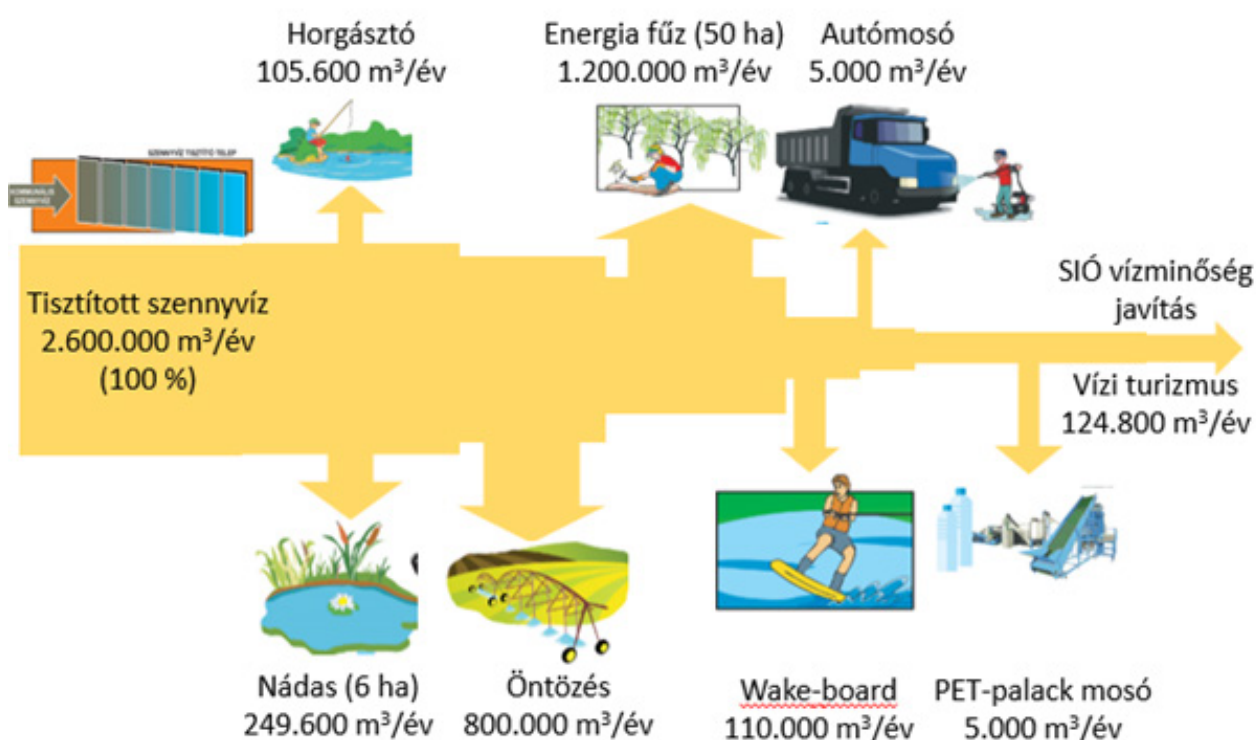


12.ábra A szekszárdi szennyvíztisztító telep terve a tisztított szennyvíz újrahasznosítására (forrás: E.R.Ö.V. Zrt. szakmai dokumentáció)

a vízimadarak költésre alkalmas nádas, gyökérzónás, vizes élőhelye lehetne. A tisztított szennyvíz hőcserélős melegvíz előállítással tehető alkalmassá energiafűz öntözésre, illetve nádas területre való kivezetésre, ahonnan a gyökérzónás tisztítást követően bevezethető egy horgászatra is alkalmassá váló tórendszerbe, mely körül kialakítható a vizes élőhely bemutatásra alkalmas tansövény. (12. ábra)

A tórendszerből kinyert víz többféle hasznosítási területen akár a sporttevékenységeket elősegítve, vagy ipari mosóvízként (pet-palackmosó, autómosó) hasznosulhat mielőtt a befogadó Sió-csatornába kerül bevezetésre. Ezen a körön a telepről kikerülő teljes tisztított szennyvíz mennyisége helyben tartható, hasznosítható elsősorban öntözővízként, illetve közvetetten energia előállításra pl. az energiafűz ültetvényen keresztül. Ez utóbbi összhangban a nemzeti energia stratégiával („Természetvédelmi

okokból a nehezen újuló bükkfa égetését meg kell tiltani, helyette az erdészeti és mezőgazdasági melléktermékek és hulladékok, valamint az energiaültetvények hasznosítására kell nagyobb súlyt helyezni.” Nemzeti Energiastratégia 2030, Nemzeti Fejlesztési Minisztérium 2012), a gyorsan növekvő husángfűzből, vagy energiafűzből nyert biomasszával nyújthat alternatívát a szennyvíz elhelyezésére és energetikai célú hasznosítására a tervezett 50 hektár területen. Így az évente keletkező 2.600.000 m³ tisztított szennyvíz mintegy 50%-ának elhelyezésére és a benne lévő tápanyagok hasznosulására, ezen keresztül pedig energia nyerésére nyílik lehetőség. (13. ábra) Az iszapvonalon biogáz fejlesztéssel elektromos energia nyerhető mely a telep működésében hasznosítható, illetve a kirohasztott iszap szolár szárítást követő égetésével lakossági felhasználásra fűtési energia nyerhető, vagy a szárított iszap mezőgazdaságban hasznosítható.



13. ábra Szekszárdi telep vízkörforgásos vízmérlege (forrás: E.R.Ö.V. Zrt. szakmai dokumentáció) szakmai dokumentáció)

A terv megvalósulása nagyszerű példát mutatna hazai viszonylatban elsőként a komplex körforgásos vízgazdálkodásra.

ÖSSZEFOGLALÁS-KONKLÚZIÓ

Napjaink szennyvízgazdálkodásának hangsúlyozott szempontja a tisztított víz minél nagyobb mértékű hasznosítása, a víz helybentartása, továbbá a visszatartott anyagok minél nagyobb mértékű újrahasznosíthatóvá tétele. Ennek jelentősége ma még elsősorban azokban az országokban érzékelhető, ahol a vízhiány, a népességnövekedés a klímaváltozás hatásai miatt akár az ivóvíz ellátásban közvetlenül, vagy közvetetten, vagy a mezőgazdaságban öntözővízként egyre nagyobb szükség van a vízpótlásra. A tanulmányban bemutatott néhány példa a még hazai viszonylatban hiányos komplex körforgásos vízgazdálkodásra kívánt rámutatni, megvalósítása elsősorban azért előtérbe helyezett, mivel elősegíti a klímaváltozáshoz való alkalmazkodást, a vízhiány pótlását, melynek alapja, hogy a szennyvíz térben és időben folyamatosan rendelkezésre álló vízforrás.

A szennyvíz újrahasznosításának nagyobb társadalmi elfogadására csak megfelelő tájékoztatás mellett számíthatunk, beleértve az oktatást is, továbbá nem nélkülözheti az egyértelmű szabályozási háttér, a felhasználási céltól függő határértékek, elvárások kidolgozását. A sikeres megvalósítás a különböző szakterületek – a vízművek, szolgáltatók, tudományos élet, vízügyi szervezetek – közötti együttműködést igényli, melyre jó példát mutat a hét ország (Izrael, Németország, Ciprus, Spanyolország, Franciaország, Olaszország és Portugália) részvételével zajló, Döntéstámogatáson alapuló megközelítés a víz fenntartható újrafelhasználásának mezőgazdasági termelésben történő alkalmazására (DSWAP) c. projekt. A nemzetközi

együttműködésben elsősorban a költség- és energiahatékony szennyvízkezelésre, valamint egy döntéstámogató eszköz (DST) kifejlesztésére összpontosítanak annak érdekében, hogy az újrafelhasznált víz megfelelő minőségét és az öntözött talajok hosszú távú fenntarthatóságát biztosítsák. A projekt keretein belül kidolgozzák az újrahasználatra szánt szennyvíz minőségének harmonizált vizsgálatára vonatkozó iránymutatásokat, szabványokat és előírásokat. (forrás: DSWAP, <https://www.dswap-prima.eu/about/impact/>) Vélhetően az ilyen irányú projektek segíthetik elő a jövőbeni komplex körforgásos gazdálkodást.

A bemutatott példák alapján összességében megállapítható, hogy a felhasználás céljának megfelelően előkészített szennyvíz, mint térségi vízgazdálkodási elem újrahasznosításával stabilizálható a vízkészlet, megoldható a vízutánpótlás és nem utolsósorban a befogadó élővizek tehermentesítése. A megvalósítás alapja a megfelelő jogszabályi környezet, ellenőrzött körülmények, megbízható tájékoztatás és az ezáltal társadalmi elfogadás.

Az arid és szemi-arid régiók mezőgazdasági vízgazdálkodásába már hosszú ideje beépült a szennyvízöntözés, de várhatóan a jövőben növekedni fog azoknak a térségeknek a száma, amelyeknek édesvíz hiányában a használt vizek újrahasznosítására kell törekedniük. A humánegészségügyi és környezeti kockázatok miatt a kutatások elsődleges feladata a biztonságos és környezeti szempontok szerint fenntartható szennyvízfelhasználás elősegítése.

Mindezek figyelembevételével a víz-újrahasznosítás a vízhiány és az aszály hatásainak csökkentésével hozzájárul a fenntartható vízgazdálkodás kialakításához.

SZERZŐ:



Bodáné Dr. Kendrovics Rita: Gépészmérnök, műszaki tanár, környezeti és települési szennyvízgyógyászati szakmérnök. 2012-ben a Soproni Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskolában környezettudomány területen szerzett doktori fokozatot. Az Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Könyv- és Környezetmérnöki Kar egyetemi docense Vízminőség- védelem és Szennyvíztisztítási technológiák tantárgyak oktatója magyar és angol nyelven. A Környezetmérnöki és Természetudományi Intézet szakmai és oktatási munkáját irányítja, mint intézetigazgató, valamint a Kar oktatási dékánhelyettese. Főbb kutatási területe a víz és szennyvízgyógyászati, ezen belül elsősorban a szennyvíz újrahasznosítás, valamint a kompetencia alapú oktatás fejlesztése.

