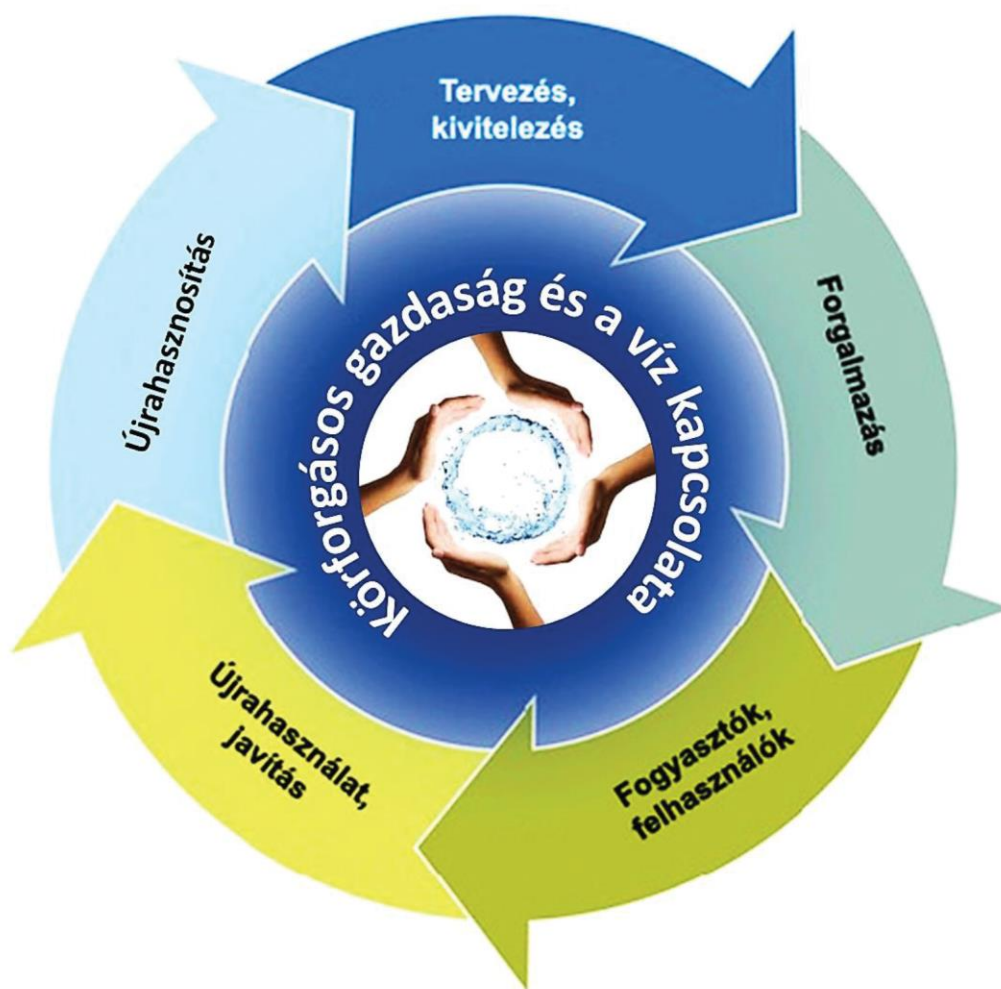


# HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 101. ÉVF. 3. SZÁM • 2021  
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 101. No. 3. • 2021





## Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja  
Megjelenik háromhavonként

### Főszerkesztő

Fehér János

### Szakszerkesztők

Ács Éva  
Konecsny Károly  
Nagy László

### Olvasószerkesztő

Szlávik Lajos

### Szerkesztőbizottság elnöke

Szöllősi-Nagy András

### Szerkesztőbizottság tagjai

Ács Éva, Bakonyi Péter, Baranyai Gábor, Baross Károly, Bíró Tibor, Bogárdi János, Bozán Csaba, Csörnyei Géza, Engi Zsuzsanna, Fehér János, Fejér László, Gayer József, Hajnal Géza, Honti Márk, Ijjas István, Józsa János, Kerekesné Steindl Zsuzsanna, Kling Zoltán, Konecsny Károly, Koris Kálmán, Kovács Sándor, Kuti László, Licskó István, Major Veronika, Melicz Zoltán, Nagy László, Rákosi Judit, Rátky István, Román Pál, Szilágyi Ferenc, Szlávik Lajos, Szűcs Péter, Tamás János, Ungvári Gábor

### Kiadó

Magyar Hidrológiai Társaság  
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.  
Tel: +36-(1)-201-7655  
Fax: +36-(1)-202-7244  
Email: titkarsag@hidrologia.hu  
Honlap: www.hidrologia.hu  
A Kiadó képviselője: Szlávik Lajos, a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke

### Hirdetés

Magyar Hidrológiai Társaság Titkarsága  
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.  
Telefon: (1)-201-7655 Fax: (1)-202-7244  
Email: titkarsag@hidrologia.hu

### Indexelik

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr.  
Fluidex; Geotechn. Abstr.; Meteor /  
Geostrophys. Abstr. Sei.; Water Res.  
Abstr.

Index: 25374  
HU ISSN 0018-1323

## Tartalomjegyzék

Fehér János: Előszó .....	3
Major Veronika: Bevezetés .....	5
<b>SZAKCIKKEK</b>	
Major Veronika: A körforgásos gazdaság és a víz kapcsolata ....	6
Murányi Gábor: A körkörös gazdasági modell kiaknázása a területi vízgazdálkodásban .....	16
Kolossváry Gábor: Körforgásos gazdaság – a mezőgazdaságban, a vízzel összefüggésben .....	31
Galambos Péter: A települési vízgazdálkodás és a körkörös gazdaság .....	40
Melicz Zoltán: A települési szennyvízrendszerek körforgásos gazdaságba történő bekapcsolásának lehetőségeiről .....	47
Zavarkó Máté és Csedő Zoltán: Körkörös gazdaság-fejlesztési és dekarbonizációs lehetőségek a power-to-gas technológia magyar szennyvíztisztító telepeken való alkalmazásával .....	60
Hujber Ottó: A szennyvíztelepek karbon lábnyomának csökkentése a rothasztott iszapok szuperkritikus vizes feldolgozásával és a biogáz szén-dioxid tartalmának biometánná alakításával .....	67
Harasztiné Hargitai Réka és Somogyi Viola: Körkörösség mértékének számítási lehetősége és nehézsége az élelmiszeriparban .....	75
Ilsik Csaba és Major Veronika: Az integrált digitális vízgazdálkodás és a körkörös gazdaság kapcsolata .....	85
<b>FOGALOMTÁR</b>	
Major Veronika: Tematikus fogalomtár – A körkörös gazdaság és a vízgazdálkodás .....	91



## Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society  
Published quarterly

### Editor-in-Chief

János FEHÉR

### Assistant Editors

Éva ÁCS

Károly KONECSNYI

László NAGY

### Copy Editor

Lajos SZLÁVIK

### Editorial Board Chairman

András SZÖLLŐSI-NAGY

### Editorial Board Members

Éva ÁCS, Péter BAKONYI, Gábor BARANYAI, Károly BAROSS, Tibor BÍRÓ, János BOGÁRDI, Csaba BOZÁN, Géza CSÖRNYEI, Zsuzsanna ENGI, János FEHÉR, László FEJÉR, József GAYER, Géza HAJNAL, Márk HONTI, István IJJAS, János JÓZSA, Zsuzsanna KERESKESNÉ STEINDL, Zoltán KLING, Károly KONECSNYI, Kálmán KORIS, Sándor KOVÁCS, László KUTI, István LICSKÓ, Veronika MAJOR, Zoltán MELICZ, László NAGY, Judit RÁKOSI, István RÁTKY, Pál ROMÁN, Ferenc SZILÁGYI, Lajos SZLÁVIK, Péter SZÜCS, János TAMÁS, Gábor UNGVÁRI

### Publisher

Hungarian Hydrological Society  
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary

Phone: +36(1)-201-7655; Fax: +36(1)-202-7244;

Email: titkarsag@hidrologia.hu

Web: www.hidrologia.hu

Represented by: Lajos SZLÁVIK, President  
of the Hungarian Hydrological Society

Email: titkarsag@hidrologia.hu

### Advertising

Secretariat of the Hungarian Hydrological  
Society

H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary

Phone: +36(1)-201-7655. Fax: +36(1)-202-7244

Email: titkarsag@hidrologia.hu

### Indexed in

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr. Flu-  
idex.; Geotechn. Abstr.; Meteor / Geo-  
astrophys. Abstr. Sei.; Water Res. Abstr.

Index: 25374

HU ISSN 0018-1323

## Contents

János FEHÉR: Foreword ..... 3

Veronika MAJOR: Introduction ..... 5

### SCIENTIFIC PAPERS

Veronika MAJOR: The relationship between the circular  
economy and water ..... 6

Gábor MURÁNYI: Exploitation of the circular economy  
model in territorial water management ..... 16

Gábor KOLOSSVÁRY: Circular economy - in agriculture,  
in connection with water ..... 31

Péter GALAMBOS: Municipal water management and the  
circular economy ..... 40

Zoltán MELICZ: On the possibilities of connecting  
municipal wastewater systems to a circular economy ..... 47

Máté ZAVARKÓ and Zoltán CSEDŐ: Circular economy  
development and decarbonization opportunities by  
power-to-gas technology implementation at wastewater  
treatment plants ..... 60

Ottó HUIJBER: Reducing the carbon footprint of wastewater  
treatment plants by supercritical aqueous treatment of  
digested sludge and reducing the carbon dioxide content of  
biogas by conversion to biomethane ..... 67

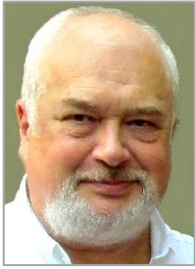
Réka HARASZTINÉ HARGITAI and Viola SOMOGYI:  
Possibility and difficulty of calculating the degree of  
circularity in the food industry ..... 75

Csaba ILCSIK and Veronika MAJOR: The relationship between  
integrated digital water management and the circular economy .. 85

### GLOSSARY

Veronika MAJOR: Thematic Glossary – Circular economy  
and water management ..... 91

## Előszó



Gyorsuló ütemben ismerik fel az országok (kormányok, döntéshozó szervezetek, a gazdaság szereplői stb.), kontinensektől függetlenül, hogy a Föld erőforrásainak felhasználása a jelenlegi termelési módok és a növekvő népesség fogyasztásának folyamatosan növekvő mértéke mellett nem fenntartható. De nem csak, hogy nem fenntartható, de ez a folyamat súlyos, visszafordíthatatlan változásokat is okoz a természeti környezetben. Változásra, változtatásra van szükség szinte minden területen!

A tudomány és a technológiai fejlesztések számos eszközt alkottak e felismerésre válaszul, amelyek minél előbbi gyakorlatba történő bevezetése segíthet a romló folyamatok megállításában, akár a tendenciák visszafordításában is. A változások egyik eszköztársa a jelenleg folytatott, az erőforrásokat folyamatosan felélő gazdasági modell átalakítás, áttérés a körforgásos gazdasági modellre és széleskörű alkalmazására.

A *Hidrológiai Közlöny* 101. évfolyamának 3. száma a körforgásos gazdaság és a víz, illetve vízgazdálkodás kapcsolatának szakmai kérdéseit járja körül.

A kötethez *dr. Major Veronika*, a *Hidrológiai Közlöny* szerkesztőbizottságának tagja, a Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség (MaSzeSz) alelnöke írt bevezető gondolatokat. Kiemelte, hogy a körforgásos vízgazdálkodásban a víz funkciói és felhasználási területei közötti kapcsolatot az integrált vízgazdálkodás módszereivel teremthetők meg. Ez ki kell egészüljön azzal, hogy a körforgásos vízgazdálkodásra való áttérés kiemelt feltétele legyen az oktatás átalakítása, mert az átállás új ismereteket kíván mind az oktatóktól, mind a hallgatóktól egyaránt. Elsősorban az innováció lehet az átállás motorja, mert eddig még nem alkalmazott módszereket, technológiákat kell bevezetni az energia- és hulladékhatékony, fenntartható gazdálkodás kialakításához.

A bevezetőt követően a lapszám 9 szócikket tartalmaz. Az első cikkben *Major Veronika* áttekintést ad a körforgásos gazdaságról, rámutatva arra, hogyan értelmezzük újra a vizet a körforgásos gazdaság tükrében, felhívva a figyelmet arra, hogy a vizet, mint szolgáltatások megalapozóját, energiahordozót és szállítóközeget kell definiálni, és ezzel újra kell gondolni használati módjait a körforgásos gazdaságban, majd cikkében bemutat néhányat a jó gyakorlatok közül is.

Az alapok ismertetése után következő cikkben *Murányi Gábor* alapgondolata, hogy a területi vízgazdálkodás jelen helyzetben felülvizsgálatra szorul, új stratégia kidolgozása szükséges, mely javítja a meglévő rendszerek rugalmasságát és integrálja azokat egy olyan természet-alapú rendszerbe, amely megfelel a körforgásos gazdaság elvárásainak is. A körforgásosság a víz- és a talaj körfor-

gásának zárását jelenti, elősegítve a vízkészletek megújulását és az erodált termőtalaj visszapótlását. Ismertet számos az alkalmazható eszköztárból, majd a területi vízgazdálkodás egyes szakágait számba véve bemutat példákat a nemzetközi és hazai jó gyakorlatokból.

*Kolossváry Gábor* több évtizedes szakmai tapasztalataira alapozva az Európai Unió első Körforgásos Gazdaság Akcióterve és a magyar nemzeti vízstratégia tükrében a körforgásos mezőgazdasági vízgazdálkodást vizsgálja, elemelve azt a vízkészletek és vízhasználatok, a termőtalaj veszteség (a termőhelyekről erodálódott, de a vízfolyásokban koncentrációzott, vízzel és tápanyagokkal telített iszap), valamint a belvizekkel való gazdálkodás (belvizek és a nagytavak fölös vizeinek hasznosítása) és a szennyezett vizek újrahasznosítása oldaláról. A cikk végén megfogalmazott jövőkép-összegzés értékes áttekintést ad azokról a szükségesnek ítélt intézkedésekről, amelyek elő tudják segíteni a körforgásos mezőgazdasági vízgazdálkodást.

A települések egyre meghatározóbb befolyást gyakorolnak egy adott terület / vízgyűjtő vízgazdálkodására. *Galambos Péter* a városi metabolizmus (anyag-, energia- és információáramlás) fogalmi rendszerébe illesztve mutatja be a települési vízgazdálkodás és a körforgásos gazdaság kapcsolatát, a vízerzékeny városok jellemzőit, valamint bemutat néhány mintaprojektet a körkörös települési vízgazdálkodás módszereinek alkalmazására.

A szennyvizek összegyűjtése és kezelése a települési vízgazdálkodás egyik kiemelten fontos ága. *Melicz Zoltán* nemzetközi szakirodalmi adatok alapján vizsgálta a szennyvíz, mint energia és nyersanyagforrás körforgásos gazdaságba történő integrációjának lehetőségeit. Megállapította, hogy számos módszer, eljárás létezik ezeknek az erőforrásoknak a kiaknázására a szennyvízből, továbbá igen intenzív kutatások folynak jelenleg is a kinyerési technológiák fejlesztésére, valamint a jelenleg még laboratóriumi vagy félüzemi kísérletek üzemi szintre emelésére. Az amszterdami szennyvízrendszer körforgásos gazdaságba történő beillesztésének példáján keresztül bemutatja azt a stratégiai anyagot, mely segítséget nyújthat a hazai szennyvízrendszerek átállításának megvalósításához.

A *Zavarkó Máté* és *Csedő Zoltán* szerzőpáros által készített cikk a szennyvíztisztításból kinyerhető anyagok megújuló energiaforrásként való felhasználásának technológiáját mutatja be. Az innovatív power-to-gas (P2G) technológia várhatóan a jövő energiaszektorának meghatározó megoldása lesz, mivel képes a többlet villamos energiát metánná alakítva a megújuló energiaforrások nagyobb fokú integrációjának elősegítésére, a szén-dioxid újrahasznosítására, illetve a technológia által lehetségessé válhat nagy mennyiségben is a hatékony, szezonális energiátárolás.

Ugyancsak a szennyvíztelepekkel kapcsolatos fenntarthatósági lehetőséget tárgyalja *Hujber Ottó*, aki bemutatja, hogy a rothasztott iszap szuperkritikus vizes elgázosítás (SCWG) technológiával történő feldolgozása jelentősen csökkenti a szennyvíztelep szén-dioxid kibocsátását, megnövekedett energiatermelés mellett, és ez egy komoly lépést jelent a körkörös gazdaság felé.

*Harasztiné Hargitai Réka* és *Somogyi Viola* kutatásukban megvizsgálták a körforgásos gazdasághoz alkalmazott mutatókat, ezen belül is kiemelten a vízkörforgás mérésének és kialakításának lehetőségére. Céljuk volt a már rendelkezésre álló CEIP, illetve MCI indikátorok átalakítása oly módon, hogy az kövesse a körforgásos gazdaság szempontjait, ötvözve a vízkör mérésével, és a későbbiekben kiegészítve a fenntarthatósági célokhoz való hozzájárulás mérésével. A mutatók tesztelését egy élelmiszeripari vállalat esettanulmányán keresztül mutatják be.

A XXI. század első évtizedei a „zöldülő” gazdaságra való átállás és digitalizáció felfutását hozzák el. A zöld gazdaság létrehozásának kulcseleme a vízszektor, mely az integrált digitális vízgazdálkodás segítségével támogatja az ikerátmenetet. *Ilesik Csaba* és *Major Veronika* az integrált digitális vízgazdálkodás és a körkörös gazdaság kapcsolatát tárgyalja, érintve hogyan lesz vízgazdálkodási adatból információ, milyen digitális eszközök terjednek el a vízgazdálkodás különböző ágaiban, és hogyan épül be a digitális információ az integrált vízgazdálkodásba.

A lapszám szerkesztői és szerzői a cikkek elkészítése és harmonizálása során szembesültek azzal, hogy számos esetben eltérő szavakat használtak azonosnak vélt fogalmak esetében. Felmerült a gondolat és az igény egy, a körforgásos gazdasággal és annak vízgazdálkodási vonatkozásaival kapcsolatos fogalomtár összeállítására. *Major Veronika* gyűjtötte össze és rendszerezte abc sorrendbe azokat a fogalmakat, amelyek leggyakrabban

fordulnak elő a vonatkozó szakirodalomban. A lapszám végén közreadott Fogalomtárban táblázatba foglalva magyarul és angolul adja meg a fogalmakat az egységes szóhasználat megalapozása céljából. A *Hidrológiai Közöny* nyitott a Fogalomtárban szereplő definíciók és angol fordításukat érintő észrevételekre, illetve a Fogalomtár bővítésére tett javaslatokra.

Szeretném megköszönni *dr. Major Veronikának* fáradtságot nem ismerő, kimagasló munkáját. Ő nemcsak kezdeményezője, de vállalva a tematikus szám megvalósítását, annak szervezője is volt, és aki ezeken felül több cikk szerzőjeként is hozzájárult a lapszám tartalmához.

Ugyancsak köszönöm *dr. Varga Pál* úrnak lektori munkáját, amelynek során értékes tanácsokat adott a cikkek szerzőinek, elősegítve ezzel a cikkek szakmai pontosságának és minőségének növelését.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm a *Szerzőknek*, hogy *dr. Major Veronika* felkérését elfogadták, és elkészítették szakterületüket érintő elemző cikkeiket.

Azt gondolom, hogy ez a tematikus lapszám képet tudott adni a fejlődőben levő körforgásos gazdaság mibenlétéről, és segítséget tud nyújtani a magyar vízgazdálkodási szakma különböző területein dolgozó szakembereknek a körkörös gazdaság és a víz komplex kapcsolati rendszerének megértéséhez, és az alkalmazható módszerek megismeréséhez. A cikkek számos ajánlást is tartalmaznak mind a döntéshozók, mind a gyakorló szakemberek számára, amelyek megvalósítása segítséget tud adni abban, hogy hazánkban is a vízgazdálkodás minél inkább segítse a körforgásos gazdaság kialakulását, mert véljük:

*A fejlődés nem áll meg, csak lemaradni lehet benne!*

*Dr. Fehér János*  
címzetes egyetemi tanár  
a *Hidrológiai Közöny* főszerkesztője

# Bevezetés



Az ENSZ által alkalmazott Emberi Fejlettségi Index magas értékével rendelkező országok ökológiai lábnyoma 2-9 Föld, vagyis ennyi földre és vízre van szüksége ezen országoknak önmaga fenntartásához és a megtermelt hulladékok eltüntetéséhez. Az elmúlt 50 évben a bennünket körülvevő ökoszisztémák, fajok és gének 68%-át elvesztettük, míg az anyagfelhasználás megháromszorozódott, miközben nap, mint nap megéljük a klímaváltozás egyre erősödő fenyegető jeleit.

Gyártási és fogyasztási szokásaink miatt feléljük bolygónk erőforrásait, és a klímaváltozás drámai kifejelethez vezethet! Az ENSZ 2018-ban közzétett környezetvédelmi programja szerint, ha 2030-ig nem sikerül kézben tartani a klímaváltozást, akkor civilizációnk jövője kérdésessé válik! A program megjelenése óta eltelt 4 évben sajnos szerény eredményt tudott csak az emberiség felmutatni!

Versenyfutás az idővel! Naponta a jelennek meg új technológiák, új modellek, ambiciózus célok, hiszen az ellátó rendszereink fenntarthatatlanságát már felismertük mikro, és makro szinten is.

A fenntartható fejlődés makroszinten meghatározott társadalmi cél, amely magában foglalja az ökológiai, a gazdasági és a fejlődési (vagy társadalmi) fenntarthatóság fogalmait, míg a körkörös gazdaság megközelítését főként mikro szinten határozzák meg a termelési és a fogyasztási modellek segítségével. Ha a körkörös kezdeményezések alkalmazása reménykeltő eredményeket hoz a fenntarthatóság érdekében, akkor *a körkörös gazdaság a fenntartható fejlődés eszközévé válik.*

A Hidrológia Közöny jelen kötete a körkörös gazdasági modell lehetőségeit, térnyerését mutatja be, lefedve a vízgazdálkodás teljes spektrumát.

A Hidrológia Közöny jelen tematikus lapszáma üzenet a szakmát gyakorlók és döntéshozók fele! Ismerjük fel, hogy

- a körforgásos vízgazdálkodásban a víz funkciói (szolgáltatásnyújtás, energiaközvetítés, a szállító közeg biztosítása) és felhasználási területei (ipari, mezőgazdasági, települési és területi vízgazdálkodás) közötti kapcsolat integrált vízgazdálko-

dási modellel teremthető meg, mely számos újszerű és meglepő (diszruptív) almodelltől épül fel. Ezek az almodellek átszövik és összekapcsolják a tervezést, kivitelezést és üzemeltetést, érintik a szolgáltatókat, a vállalkozókat és a felhasználókat, jelentős feladatokat adva a vállalati menedzsmentnek és az államigazgatásnak is;

- a körkörös gazdaságra való áttérés másik kulcseleme az oktatás átalakítása. A körkörös gazdasági modell, az integrált vízgazdálkodásra való felkészülés és a digitális átállás új ismereteket kíván az oktatóktól és a hallgatóktól egyaránt;
- talán soha nem vártunk az innovációtól ilyen komoly feladatokat. Ha 2050-re el akarjuk érni a karbon semlegességet a körkörös gazdaság segítségével, akkor ehhez meg kell találnunk a módszereket a „tisztá” villamos energia előállítására és tárolására, a szennyvízben lévő energia kiaknázására, a precíziós élelmiszertermelésre és a használt vizek újra hasznosítására.

Bár a körforgásos gazdaságot az innováció és a digitalizáció hajtja, ám megfelelő közigazgatási eszközök (pl. szabályozási tilalmak, szabványok, stratégiák), gazdasági eszközök (pl. adók, tarifák, támogatások) és termékpolitikai eszközök (pl. címkék, tanúsítványok, tájékoztató kampányok) nélkül az átállás megvalósíthatatlan.

A lakosság fogadókészsége, nyitottsága az új modellek iránt meglepően erős. Népszerű például, csak hogy néhányat említsünk, a szelektív hulladékgyűjtés, a házi csapadékvíz-gazdálkodás, a műanyagok kizárása életünkben, a napelemek beépítése és a közlekedési megosztó rendszerek használata. A vállalatok önkéntes fenntarthatósági riportban kötelezik el magukat és büszkén viselik a fenntartható vállalat címet!

A kérdés az, hogy a politikai, a gazdasági döntéshozók túl tudnak-e látni regnálási ciklusukon, és képesek-e, hajlandók-e hosszabb távú célokat is szolgálni, akár a rövid távú sikerek kontójára is!

Ennek a mostani lapszámnak az üzenete: **TALÁN MÉG NEM KÉSŐ!**

*Dr. Major Veronika*  
a Hidrológiai Közöny szerkesztőbizottságának tagja

## A körforgásos gazdaság és a víz kapcsolata

Major Veronika

Magyar Víz-és Szennyvíztechnikai Szövetség, 1046 Budapest, Kiss Ernő utca 3/a. (E-mail: vera@botondok.hu)

### Kivonat

A globális éghajlatváltozás mára már vitathatatlan jelenség. Van, ahol a sok víz, másutt a kevés víz okoz problémát. A városi/települési klíma az épületek, a burkolatok, a növényzet és a sokféle emberi tevékenység miatt speciális feladat elé állítja a tervezőket. Hogyan kell úgy tervezni, gyártani, üzemeltetni, hogy megfeleljünk a körforgásos gazdaság elvárásainak, alkalmazzuk a digitális technikát, és mindemellett figyeljünk a kék-zöld infrastruktúrára is? Új nézetekkel, fogalmakkal, szakkifejezésekkel találkozunk, feszegetve szakterületünk, tudományunk határait. Újra tanuljuk a szakmánkat, értelmezzük új kifejezéseket. Így ismerkedünk meg a körforgásos gazdasággal, annak alapelveivel és a jó gyakorlatokkal. Hogyan értelmezzük újra a vizet a körforgásos gazdaság tükrében? A vizet, mint szolgáltatások megalapozóját, energiahordozót és szállítóközeget kell definiálni, és ezzel újra kell gondolni használati módjait is.

### Kulcsszavak

Körkörös gazdaság, lineáris gazdaság, integrált vízgazdálkodás.

## The relationship between the circular economy and water

### Abstract

Global climate change is now an indisputable phenomenon. Some have a lot of water, elsewhere a lack of water is causing problem. The urban / urban climate is a special task for designers due to its buildings, sidewalks, vegetation and diverse human activities! How can it be designed, manufactured and operated to meet the expectations of a circular economy, apply digital technology and at the same time pay attention to blue-green infrastructure? We meet new aspects, concepts and technical terms, drawing the boundaries of our special field. We re-learn our profession, interpret new terms. This is how we get to know the circular economy, its principles and good practices. How do we reinterpret water in the light of the circular economy? Water must be defined as the support of services, energy carriers and transport media, and thus its uses must be reconsidered.

### Keywords

Circular economy, linear economy, integrated water management.

*„Eljön az idő, amikor már nincs gazdasági értelme a „szokásos üzletmenetnek”, és a körforgásos gazdaság virágozni fog. Gondolkodásunk még gyerekcipőben jár, de most lépéseket teszünk annak érdekében, hogy lássuk, mi működik a gyakorlatban, és megértsük az üzleti modellünk átdolgozásának következményeit.”*

*Euan Sutherland, vezérigazgató, Kingfisher U.K. & Ireland*

### BEVEZETÉS

Néhány éve három megatrend alakítja a vízügyi szektort, úgymint a körforgásos gazdaság, a digitalizáció és a kék-zöld infrastruktúra használatával járó előnyök.

Paradigmaváltás korszakát éljük! Új nézetekkel, fogalmakkal, szakkifejezésekkel találkozunk, feszegetve szakterületünk, tudományunk határait. Újra tanuljuk a szakmánkat, értelmezzük az új kifejezéseket. Így ismerkedünk meg a körforgásos gazdasággal, annak alapelveivel és a jó gyakorlataival. Az eddig alkalmazott lineáris gazdasági modellek, melyek a korlátlanul rendelkezésre álló energia- és alapanyag forrásokra alapoztak, napjainkban már fenntarthatatlanok. Egyrészt az erőforrások csökkenése mára már fenyegető szűkösséget generál, másrészt a terhelések okozta klímaváltozás, a bolygó ökoszisztémáinak szegényedése fenyegető valósággá vált.

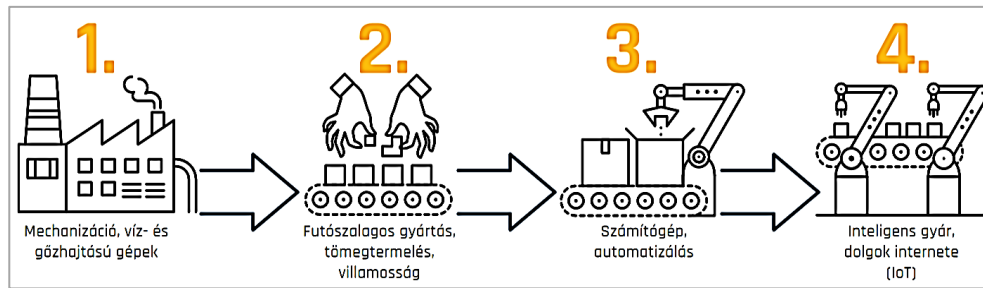
A körforgásos gazdasági modell bevezetése azonban, érintve a társadalom minden rétegét, reményt ad arra, hogy

fenntartható, zéró karbon kibocsátású, erőforrás-hatékony és versenyképes gazdaság alakuljon ki. Hogyan kell úgy tervezni, építeni és üzemeltetni, hogy megfeleljünk a körforgásos gazdaság alapelveinek, alkalmazva a digitális technikát, és mindemellett ügyelve a biológiai értékekre is? (European Commission 2015).

Újra definiáljuk a víz funkcióit, úgymint a szolgáltatások megalapozóját, az energiahordozót és a szállítóközeget. Hogyan értelmezzük újra a vizet a körforgásos gazdaság tükrében?

### Út a körforgásos gazdasághoz

A 18. században kezdődő iparosodás és az ipari forradalmak hatalmas lökést jelentettek az emberiség fejlődésének, mind műszaki, mind pedig társadalmi szempontból. Az első három ipari forradalomban a tudomány belső fejlődése révén megszületett eredmények alapján hoztak létre új ipari technológiákat, jóval a tudományos eredmények megszületése után (1. ábra).



1. ábra. Az ipari forradalmak (Forrás: Ipar 4.0 Mintagyárak 2018)  
Figure 1. The industrial revolutions (Source: Ipar 4.0 Mintagyárak 2018)

A napjainkban zajló 4. ipari forradalom (Ipar 4.0) esetében az ipar már a tudomány megrendelőjeként lép fel. A digitális forradalomnak is nevezett Ipar 4.0-t az internet hajtja, és a vevői igényeknek való minél hatékonyabb megfelelés indukálja (Pálinskás 2018).

A fejlődő gazdaságok a lineáris gazdaság modelljét alkalmazták, vagyis a folytonosan növekvő termelést a korlátlan rendelkezésre álló olcsó erőforrásokra alapozták, az „elvesz-termel-eldob” koncepció alapján (2. ábra). Ebben a lineáris modellben a legtöbb erőforrás életciklusa a

bölcsőtől a sírig tart. A „szűkösséget” fel nem ismerő modell, túllépve bolygónk kínálati határain, az erőforrások túlhatalmához, a kibocsátások és terhelések növekedéséhez, a biológia értékek felélééséhez vezetett, hozzájárulva a klíma változásához. Elgondolkodtató, hogy az elmúlt 40 évben a felhasznált fémek mennyisége 200 %-kal, a fosszilis energiahordozók használata 81 %-kal, a biomassza használat 67 %-kal, a nem fémes anyagok használata pedig 116 %-kal növekedett (Ellen MacArthur Foundation 2013).



2. ábra A lineáris gazdaság „elvesz-termel-eldob” modellje (Forrás: Csiffáry és társa 2019)  
Figure 2. The linear economy „make-use-waste” model (Source: Csiffáry et al. 2019)

Az ezredfordulóra az erőforrások szűkülése jelentős kockázati tényezővé vált! Ezek a kockázatok, vagyis az erőforrás-piacok emelkedő és kiszámíthatatlan árai, a természeti tőke fenyegető szegényedése, valamint a fogyasztói piacok megváltozott igényei vezettek a lineáris gazdasági modell felülvizsgálatához és egy új, az erőforrásokkal hatékonyan gazdálkodó körforgásos gazdasági modell bevezetéséhez. A jelenség háttérében három irányzat van, melyek együttesen a körforgásos gazdaság mozgatórugói: az átalakuló fogyasztói igények, a szűkös erőforrások és a digitális technológiák térnyerése.

A körforgásos gazdaság termelési és fogyasztási modellje az erőforrások jobb kihasználására, a nyersanyag-használat csökkentésére, a termékek élettartamának meghosszabbítására, az ellátás biztonságának növelésére és az üvegházhatású gázok kibocsátásának korlátozására, végül pedig a „zéró-emisszió” elérésére épül. A körforgásos gazdaság fogalmát hat tényező vázolja fel (6R modell), azaz „csökkentés-reduce, visszanyerés-recycle, újrafelhasználás-reuse, újrahasznosítás-recover, helyreállítás-remanufacture és újragondolás- rethinking”.

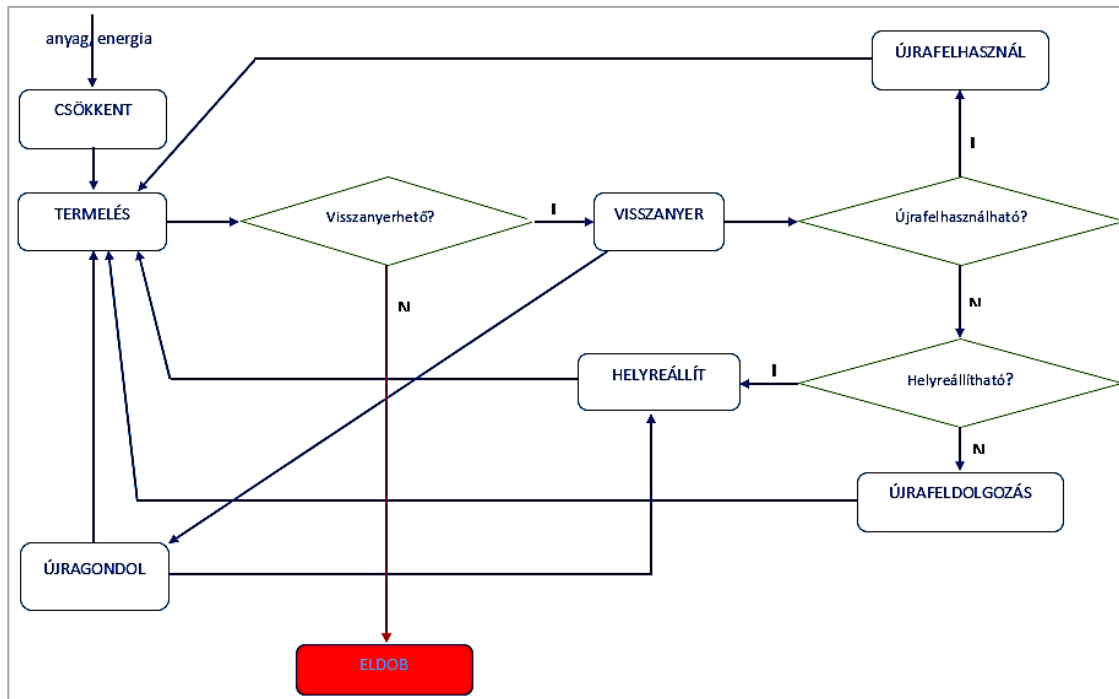
A csökkentés (reduce) a termék életciklusának minden szakaszára összpontosít, beleértve a felhasznált erőforrások, anyagok és energia, valamint a keletkező hulladék mennyiség csökkentését is. A termékek vagy alkatrészek új anyagok helyett történő újrafelhasználása (reuse) csök-

kentheti például a termeléshez használt anyag- vagy energiamennyiséget. Az egyébként hulladéknak tekintett termékek vagy alkatrészek újrafeldolgozása (recycle) tovább csökkentheti az új anyagok felhasználását. A visszanyerés (recovery) a termékek, alkatrészek kinyerése szétszereléssel, és/vagy válogatással. A termékek vagy alkatrészek újragondolása (rethinking) magában foglalja a visszanyert anyagok és erőforrások, valamint az ismeretek és információk felhasználását az új generációs termékek tervezésének ésszerűsítéséhez. A termékek vagy alkatrészek helyreállítás (remanufacture) a termékek felújítását, javítását jelenti (Bonilla Hernández 2019).

Napjainkban párhuzamosan zajlik a körforgásos gazdaság térnyerése és a digitális forradalom, melyek kombinációja a digitális-körforgásos gazdasági modell, mely hozzájárul az Európai Zöld Megállapódás (European Green Deal) megvalósításához, vagyis ahhoz a célhoz, hogy Európa 2050-re a világ első klímasemleges és versenyképes kontinensévé váljon (European Policy Center 2020).

A körforgásos gazdaság támogatja a Fenntartható Fejlesztési Célok (SDG) megvalósítását, különösen SDG6 (tisza víz), az SDG7 (megfizethető és tiszta energia), az SDG8 (munka és gazdasági növekedés), az SDG12 (felelős fogyasztás és termelés) és a SDG15 (szárazföldi élet) területén (Het Groene Brein 2020).





3. ábra. A körforgásos gazdaság „csökkentés, visszanyerés, újrafelhasználás, újrafeldolgozás, helyreállítás és újragondolás” (R6) modellje (Forrás: Bonilla Hernández 2019)  
 Figure 3. The “reduce, recovery, reuse, recycle, remanufacture and rethinking” (R6) model of the circular economy (Source: Bonilla Hernández 2019)

A körforgásos gazdaság három alapelvere épül (Ellen MacArthur Foundation 2013):

I. A negatív externáliák minimalizálása, vagyis a folyamatok negatív következményeinek csökkentése: a veszélyes anyagok megszüntetése, helyettesítése vagy mérséklése, a tervezési fázisban jól megválasztott anyagokkal a hulladékok, a káros anyag kibocsátások csökkentése, a fosszilis erőforrások helyett pedig a megújuló energia használata. A körforgásos gazdaságban az anyagciklusok egy ökoszisztéma példáját követve záródnak. Nincs hulladék, energia veszteség, mivel minden anyag és energia felhasználható új termék előállítására.

II. Az erőforrás kihozatal optimalizálása: a termékek, alkatrészek, anyagok körforgása révén, megnövelve élettartamukat a technikai és biológiai ciklusban, így az anyagok hosszabb ideig a gazdasági folyamatok részei lesznek.

III. A természeti tőke megóvása és regenerálása: a kimerülő készletek szabályozott használatának és a megújuló erőforrások alkalmazásának egyensúlyán keresztül.

A körforgásos gazdasági modellt támogató üzleti modellek (Bioregional 2019):

- Körforgásos értékláncot bezáró anyag és energia hurok,
- Az anyag visszanyerése és visszagyűjtése,
- Tartósság és külön-külön javítható modulokból álló szerkezetek tervezése és alkalmazása,
- Testre szabás, megrendelésre készítés, mely minimalizálja az anyagigényeket,
- Tulajdonlás helyett bérlés (dematerializált szolgáltatás), mikor a termelő a szolgáltatáshoz biztosít hozzáférést az ügyfél számára, nem pedig magához a termékhez,

- Együttműködő / megosztó gazdaság, melyben a digitális technológiák alkalmazásával a fogyasztók, a vállalatok és a kisvállalkozók készleten levő termékeiket kikölcsönözhetik, megoszthatják, cserélhetik vagy kölcsönadhatják, így kevesebb erőforrásra van szükség a ritkán használt termékek elkészítéséhez.

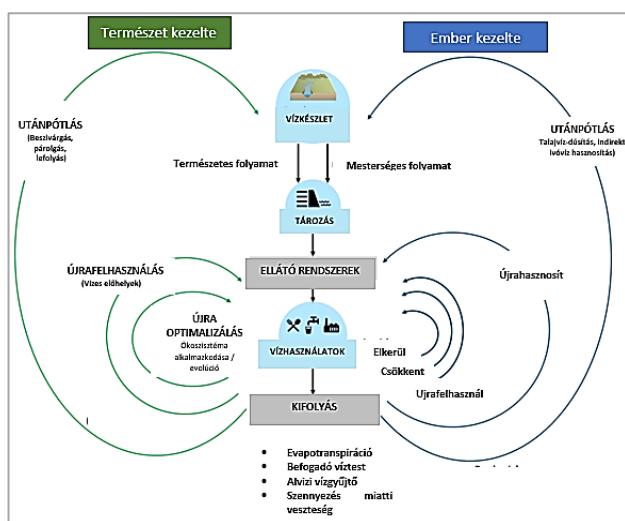
Felismerve, hogy gyorsítani kell az áttérést egy olyan regeneratív növekedési modellre, amellyel kevésbé károsítjuk a Földet, 2015-ben az Európai Bizottság elfogadta az első Körforgásos Gazdaság Akciótervét, majd 2020 márciusában megjelentette a körforgásos gazdaságra vonatkozó új cselekvési tervet (CEAP). A terv, megadva az európai fenntartható növekedés új menetrendjét, az Európai Zöld Megállapodás egyik fő építőkövévé vált. Az innováció támogatása, a társadalom bevonás ösztönzése, a zöld közbeszerzés és az új finanszírozási eszközök jelentős ösztönzést adnak a körforgásos gazdaságra való átállásra (EURÓPAI BIZOTTSÁG 2020).

### A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁG ÉS A VÍZ KAPCSOLATA – A KÖRFORGÁSOS VÍZGAZDÁLKODÁS

A siker értékmérője napjainkban már nem a gazdasági növekedés. Újraértékeljük a vízhez való kapcsolatunkat, tiszteljük a víz értékét, a szennyvíz és a szennyvíziszap kulcsfontosságú energiaforrássá válik, miközben megkíséreljük visszaállítani a természeti tőke jó állapotát. Ennek fényében újra definiáljuk a víz körforgását.

A vízspecifikus körforgásos gazdasági rendszerek diagramja egy „Természet kezelte” és egy „Ember kezelte” félre oszlik. A „Természet kezelte” oldalon a vízciklus a természetes ciklusnak megfelelően a vizet optimálisan

hasznosítja (reoptimise), újrafelhasználja (reuse) és utánpótlást biztosít (replenish), míg az „Ember kezelte” oldalon a víz körforgását – a 6R folyamatok alkalmazásával – az emberi cselekvés irányítja (Ellen MacArthur Foundation 2018).



4. ábra. Vízspecifikus körforgásos gazdasági rendszerek diagramja (Forrás: Ellen MacArthur Foundation 2018)

Figure 4. Circular Economy Systems Diagram specific to Water System (Source: Ellen MacArthur Foundation 2018)

A víz, azon túl, hogy a földi élet egyik alaptényezője, szolgáltatásokat nyújt, energiát közvetít és szállító közeget biztosít. Többek között például olyan fontos szolgáltatásokat nyújt, mint a vízellátás, a vízbe juttatott szennyezőanyagok összegyűjtésének és kezelésének elősegítése, a hűtés és fűtés, valamint a termelési folyamatok kiszolgálása. A víz, mint energiaforrás, a vízerőművek segítségével energiát termel, és lehetővé teszi a hőenergia felvételét (pl. víz-hőszivattyúk és a szennyvízesatornákból történő energiagyűjtés). A víz, mint szállító közeg, vegyi anyagok és részecskék hordozójaként potenciális erőforrást vagy szennyező anyagot jelenthet.

A körforgásos vízgazdálkodásban a víz funkciói (szolgáltatásnyújtás, energiaközvetítés és a szállító közeg biztosítása) és felhasználási területei (ipari, mezőgazdasági, települési és területi vízgazdálkodás) közötti kapcsolat integrált vízgazdálkodási modellel teremthető meg, mely számos újszerű és meghökkentő (diszruptív) almodelltől épül fel. Ezek az almodellek átszövik és összekapcsolják a tervezést, a kivitelezést és az üzemeltetést, érintik a szolgáltatókat, a vállalkozókat és a felhasználókat, jelentős feladatokat adva a vállalati menedzsmentnek és az államigazgatásnak is. A körforgásos gazdaság alapelveinek hatását a vízgazdálkodásra az 1. táblázat szemlélteti.

#### A jó kormányzati munka kialakítása a hosszú távú nemzeti erőforrás menedzsment érdekében

A jó kormányzati politika megalapozza és segíti a körforgásos gazdaságba való átmenetet. A kormány feladata, hogy a környezeti károk szerepeljenek a termékek és szolgáltatások áraiban, hogy pénzügyi eszközökkel támogassa az átmenetet, hogy a zöld közbeszerzéssel piacot nyisson a körforgásos gazdaságot megvalósító áruknak és szolgáltatásoknak, hogy az oktatás átalakításával készítse fel a tanárokat és a hallgatókat az átállásra, illetve,

hogy mielőbb építse be a jogi rendszerünkbe a szükséges szabályozásokat.

#### 1. táblázat. A körforgásos gazdaság alapelvei és a vízgazdálkodás közötti kapcsolat

(Forrás: Ellen MacArthur Foundation 2018)

Table 1. Relationship between Circular Economy Principles and Water Systems Management

(Source: Ellen MacArthur Foundation 2018)

Körforgásos gazdaság alapelvei	Hatása a vízgazdálkodásra
Negatív externáliák minimalizálása	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimalizálja a vízrendszerek üzemeltetéséhez felhasznált energia, anyagok és vegyszerek mennyiségét.</li> <li>Optimalizálja a vízhasználatot a vízgyűjtőn belül a szomszédos vízgyűjtők védelme érdekében</li> <li>Vízszegény megoldásokat alkalmaz</li> </ul>
Eroforrás kihozatal optimalizálása	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimalizálja az energia vagy az erőforrások vízrendszerből történő kinyerését, és maximalizálja azok újra felhasználását.</li> </ul>
A természeti tőke megővése és regenerálása	<ul style="list-style-type: none"> <li>Megőrzi és gazdagítja a természeti tőkét (pl. folyók helyreállítása, szennyezés megelőzése, vízminőség szabályozása stb.).</li> </ul>

#### Erős intézményrendszer

A körkörös gazdasági modell alapelveinek érvényesítéséhez szükséges egy erős, államhatalmi jogosítvánnyal rendelkező intézményrendszer. Olyan kormányzást kell megteremteni, amely képes érvényesíteni a víz szempontokat az ágazati politikákban, amely a víz súlyának megfelelő intézményrendszeren keresztül képes sikerre vinni a klímaseleges, víztudatos döntéseit.

#### Új közbeszerzési értékelési rendszer

2020-ban Magyarországon 7431 eredményes közbeszerzési eljárást folytattak le, összesen több mint 3263 milliárd forint összértékben. A körkörös gazdaság alapelveinek országos szinten történő beépítésével a közbeszerzés kiválasztási szempontrendszerébe, ez a 3263 milliárd forint lehetne az a keret, mely hozzájárulhat a körkörös gazdaságba való átmenethez, teret nyitva a körkörös termékek és szolgáltatások térnyerésének.

A körkörös gazdaság bevezetését segítheti a Dinamikus Költségelemzés módszere, amely a tervezési folyamatot jelenleg domináló, rövid távú pénzügyi szemlélet helyett, a költséghatékonyság és a fenntarthatóság szempontjainak érvényesülését támogatja, a teljes életciklus szemlélet, valamint az életciklusköltség számítás módszerének alapján. A Dinamikus Költségelemzés, mint a kiválasztást segítő módszer alkalmazása, a közbeszerzések során biztosíthatja a legkisebb összköltséggel járó műszaki megoldások kiválasztását a vízügyi-fejlesztések tervezési folyamatában (BDL 2016).

#### A viták és a konfliktusok megelőzésének ösztönzése – a határon átnyúló problémák kezelése

A szűkülő készletekkel a víz egyre inkább a konfliktusok forrásává válik, aláásva társadalmi rendszereink stabilitását. Az integrált vízgazdálkodás innovatív műszaki, intézményi, közgazdasági és jogi eszközeinek alkalmazása elősegíti a vízzel kapcsolatos viták megoldását, és támogatja a határokon átnyúló vízügyi együttműködést és a

nemzetek fenntartható vízgazdálkodásának mielőbbi kialakítását.

Bár az Európai Unió és tagállamai rendelkeznek a világ egyik legkiterjedtebb és legösszehangoltabb nemzetközi vízpolitikai irányítási rendszerével, mégis számos strukturális hiányosság azonosítható, amelyek a nemzetközi vízügyi együttműködésnek - az éghajlati szélsőségek növekedésével együtt változó hidrológiai feltételek tükrében - kritikus sérülékenységi tényezőjévé válhatnak. Ilyen strukturális hiányosságok például: a vízkészlet-gazdálkodás szabályozásának és a vízmegosztási mechanizmusoknak a gyengeségei, a hidrológiai változékonyság nemzetközileg elégtelen kezelése és a nem kellően hatékony vitarendezési mechanizmusok (Baranyai 2019).

#### **A természeti erőforrás hatékonyság javítása**

A természeti erőforrásokkal való gazdálkodás egyik mutatója a hazai anyagfelhasználás, melynek segítségével kiszámítható, hogy a gazdasági növekedéssel egyidejűleg milyen mértékű a természeti erőforrások igénybevétele (Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács 2019). Sajnos Magyarországon 1 euro értékű termék előállításához 1,25 kg anyagfelhasználásra van szükség, míg az EU átlagában ehhez 0,45 kg elegendő. A természeti erőforrások használatának csökkenésével nemcsak azok igénybevétele, de az ahhoz kapcsolódó szennyvízkibocsátás is csökkenhet.

Az erőforrás-hatékonyság javításához a szolgáltatási és a Kutatás + Fejlesztés + Innováció szektorok erősödése, valamint a körforgásos gazdaság nagyobb térnyerése adhatna újabb lendületet.

#### **Tudásmegosztás és innováció a víz-értékének tudatosítására a digitális-körkörös átalakulás támogatására**

Talán soha nem vártunk az innovációtól ilyen komoly feladatot. Ha 2050-re el akarjuk érni a karbon semlegességet a körkörös gazdaság segítségével, akkor ehhez meg kell találnunk a módszereket a tiszta villamos energia előállítására és tárolására, a szennyvízben lévő energia kiaknázására, a precíziós élelmiszertermelésre és a használt vizek újra hasznosítására.

A körkörös gazdaságra való áttérés másik kulcseleme az oktatás átalakítása. A körkörös gazdasági modell, az integrált vízgazdálkodásra való felkészülés és digitális átállás új ismereteket kíván az oktatóktól és a hallgatóktól egyaránt. „Egy szakadék tátong a vízgazdálkodás gyakorlata és a digitális technológiai-tudományos lehetőségek között” – fogalmazott Szöllösi-Nagy András. (Nemzeti Közszolgálati Egyetem 2020)

A víztudomány nem csupán műszaki, hanem társadalmi és természettudományos kérdés is, mely interdiszciplináris tudást tételez fel. Az új kihívások megújuló tudást, új szemléletváltást és a modern eszközök alkalmazását kívánják meg. Elengedhetetlen olyan szakemberek kiképzése, akik nem csak a technikai, mérnöki részét ismerik a víztudománynak, hanem mint társadalmi, politikai és kommunikációs problémát is értik és kezelni tudják. Ehhez kell illeszkednie a víztudománynak és az oktatásnak is. Szöllösi-Nagy szerint (személyes közlés) egy egyetemeken közötti mesterkurzus (MSc) beindításával, és egy digitális-

körkörös technikákat oktató gyakorlati központ létrehozásával biztosítható lenne a változtatásokhoz szükséges szakemberigény kielégítése és a folyamatos képzés ezen a területen. Emellett a körkörös gazdaság kialakításához szükséges alapismereteknek minden víztudománnyal foglalkozó oktatásban meg kell jelenniük. Ezen kívül egy koordinált, interdiszciplináris kutatóhálózat is megbízható bázisa lehet a digitális-körkörös gazdasági modell innovációjának és működtetésének.

#### **A körforgásos vízgazdálkodás – integrált vízgazdálkodás**

„Az integrált vízgazdálkodás egy olyan folyamat, amely elősegíti a víz-, a terület- és a kapcsolódó egyéb készletek koordinált felhasználását és a készletekkel való összehangolt gazdálkodást annak érdekében, hogy igazságos módon maximalizálják a gazdasági és társadalmi jólétet, anélkül, hogy sértenék a létfontosságú ökoszisztémák fenntarthatóságát.” (Global Water Partnership 2015).

Magyarországon már az 1970-es években is voltak kezdeményezések az integrált vízgazdálkodás módszereinek kialakítására és bevezetésére. Az 1990-es évek elején született meg az elhatározás arra, hogy áttérünk az igazán integrált, az ország egész területére kiterjedő vízgyűjtő-gazdálkodási tervezésre. A kidolgozott, nemzetközi szinten is korszerűnek tekinthető új tervezési rendszert azonban csak néhány mintaterületen próbáltuk ki, mert időközben bekapcsolódtunk az EU Víz Keretirányelvében megalapozott vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési rendszer bevezetésének előkészítésébe. Bár ez a tervezési módszertan a körforgásos gazdasági modell számos elemét kiemelten tartalmazza, pl. a vizek állapotának, ezen belül mennyiségi állapot javítását, de nem feladatuk a szociális és gazdasági célkitűzések teljesítéséhez szükséges vízgazdálkodási feltételek biztosítása, ezeket figyelembe veszik a célkitűzések és a mentességek meghatározásánál. A szociális és gazdasági célkitűzések teljesülését és a határokon átívelő együttműködést részletesen az integrált vízgazdálkodási tervezés keretében meghatározott intézkedésekkel lehet megtenni.

A 2017-ben készült, a teljes mértékben integrált vízgazdálkodást megalapozó Kvassay Jenő Terv – a Nemzeti Vízstratégia – céljaiban már tükröződnek a körforgásos gazdaság elvei, ötvözve a területi vízgazdálkodást (beleértve például az öntözésfejlesztést) és a települési vízgazdálkodást. Magyarországon számos, a vízgazdálkodásra közvetlenül vonatkozó jogszabály van érvényben (Víz Keretirányelv, Települési Szennyvíz Irányelv, Nitrát Irányelv, Fürdővizek Irányelv, a Madár és Élőhelyvédelmi Irányelvek, valamint az Árvízkezelési Irányelv), amelyeket még sok egyéb jogszabály, politika és stratégia egészít ki (például a Környezeti Hatásvizsgálatokra és Stratégiai Környezeti Vizsgálatra vonatkozó irányelvek, a Kvassay Jenő Terv, a Területi Vízkészletgazdálkodási Tervek és sok más egyéb fontos szabályozó eszköz. Ezek harmonizációja az integrált vízgazdálkodáson keresztül valósítható meg. Az integrált vízgazdálkodás célja nem csak a vizek jó állapotát biztosító intézkedések, hanem a gazdasági és szociális célokkal kapcsolatos vízgazdálkodási igények kielégítését biztosító intézkedések megtervezése és megvalósítása is (Ijjas 2019). A körforgásos gazdaság alapelvei támogatják az integrált vízgazdálkodást,

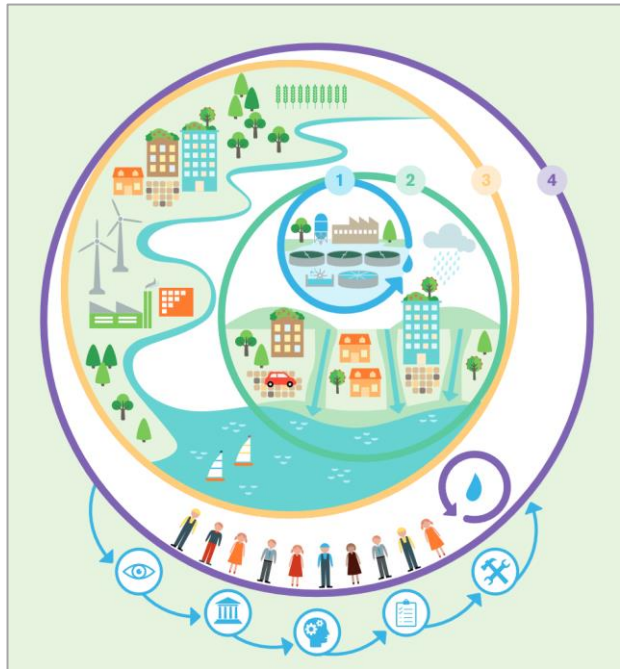
jelentős hangsúlyt fektetve a tervezésre, a jó intézményrendszer kialakítására, a konfliktusok kezelésére és társadalom bevonására a döntési folyamatokba.

### A körforgásos vízgazdálkodás – Víz Keretirányelv, vízgyűjtő-gazdálkodási tervek

A VKI célja a vizek állapotának javítása, ami kiemelten a vízszennyezés minimalizálásával és a vízkészletek fenntartható használatával érhető el, összhangban a körkörös gazdaság koncepciójával. A VKI célja a természeti tőke megóvása és regenerálása is, védve a víztől függő ökoszisztémákat, védett természeti területeket, vízbázisokat A hazai vízgyűjtő-gazdálkodási tervek (OVF 2015, OVF 2021) számos intézkedést (műszaki, szabályozási, gazdaság-szabályozási) irányoznak elő, ami kifejezetten a körkörös gazdaság, ezen belül a körkörös vízgazdálkodás kialakulását és fejlődését segítik elő. Ilyenek pl. tisztított szennyvíz hasznosítás, a szennyvíziszap hasznosítása, belvízrendszer módosítása (a vízviisszatartás elősegítése), víztakarékosság minden vízhasználónál, a felszíni és a felszín alatti vízkivétel szabályozása, engedélyezés, természetes vízviisszatartást segítő intézkedések (települési csapadékvíz-gazdálkodás, tábla szintű, vízviisszatartás tározókkal), intézkedések a vizes és szárazföldi élőhelyek védelmére, gazdasági szabályozó és vízárpolitikai intézkedések.

### A fenntartható/körforgásos települési vízgazdálkodás

A Nemzetközi Vízügyi Szövetség (IWA) az integrált vízgazdálkodás figyelembevételével kidolgozta a körforgásos települési vízgazdálkodás alapelveit (5. ábra, IWA 2020).



5. ábra. A körforgásos települési vízgazdálkodás alapelvei  
(Forrás: IWA 2020)

(Jelmagyarázat: 1: Megújító/regeneratív vízszolgáltatások, 2: Vízérzékeny várostervezés, 3: Közös vízgyűjtőű települések, 4: Vízérzékeny közösségek)  
Figure 5. Principles for Water-Wise Cities (Source: IWA 2020)  
(Legend: 1: Renewable / regenerative water services, 2: Water-sensitive urban planning, 3: Municipalities with shared river basins, 4: Water-sensitive communities)

A körforgásos (élhető és fenntartható) települési vízgazdálkodás alapelvei:

#### 1 – Megújító/regeneratív vízszolgáltatások

- A víztestek és ökoszisztémáik feltöltése – pl. a vízkörök zárása.
- A felhasznált víz és energia mennyiségének csökkentése – pl. a vízvesztesség csökkentése, okos mérők alkalmazásával a vízfogyasztás csökkentése, digitális eszközökkel a szennyvíztisztítás hatékonyságának növelése.
- A víz, az energia és a tápanyagok újra felhasználása, helyreállítása, újrahasznosítása – pl. foszfor és cellulóz kinyerése, az iszap energetikai hasznosítása, tisztított szennyvíz újrahasznosítása, csapadékvízrel való gazdálkodás, az iszap mezőgazdasági hasznosítása, a szűrkevíz és a hullámenergia hasznosítása.
- Rendszerszemlélet alkalmazása – pl. a hálózatok összekapcsolása, decentralizált csapadékvíz gazdálkodás támogatása.

#### 2 – Vízérzékeny várostervezés

- A regeneratív vízszolgáltatások támogatása a tervezés során.
- A városi árvízveszélyt csökkentő terek tervezése – pl. decentralizált csapadékvíz gazdálkodás, zöld tetők.
- A vízzel való kapcsolat erősítése – pl. ivókutak telepítése, városi hullámterek rekreációs célú hasznosítása.
- Az anyagok/technológiák helyes megválasztása a környezet terhelés csökkentése érdekében – pl. vízáteresztő felületek, decentralizált csapadékvíz gazdálkodás, a csapadékvíz szerves szennyező tartalmának csökkentése, alacsony karbonlábnyomú technikák alkalmazása.

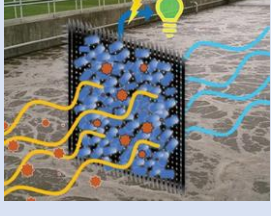
#### 3 – Települési vízgyűjtő gazdálkodás

- A vízkészletek biztonságának megteremtése – pl. vízbázisvédelem, monitoring és early warning (korai előrejelző) rendszer üzemeltetése.
- A vízminőségvédelem – pl. a szennyvíztelepek kibocsátásának csökkentése, a szerves szennyezők kezelése harmadlagos tisztítási fokozattal.
- Felkészülés szélsőséges eseményekre – pl. tárolókapacitások kiépítése, vízkormányzás.

#### 4 – Vízérzékeny közösségek

- Társadalom bevonása – pl. közösségi tervezés, környezeti nevelés, az érintettek bevonása a döntésekbe, a társadalom víztudatának fejlesztése (a vízérték helyreállítása).
- Felkészült szakemberek nevelése – pl. tudományos platformok működtetése.
- Transzdiszciplináris/több tudományterület szakértőiből álló tervezőcsapatok felállítása.
- A víz jelentőségét, értékét jól ismerő politikai döntéshozók bevonása – a vízérték helyreállítása.
- Elkötelezett vezetők.

Néhány mintaprojekt a körkörös gazdaságra:

	<p><b>Cellulóz visszanyerés szennyvízből</b>  <b>Körkörös gazdasági előny:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimalizálja a vízrendszerek üzemeltetéséhez felhasznált energia, anyagok és vegyszerek mennyiségét</li> <li>• Megőrzi és gazdagítja a természeti tőkét</li> </ul>
	<p><b>Csapadékvíz újrahasznosítás</b>  <b>Körkörös gazdasági előny:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimalizálja a vízhasználatot</li> <li>• Megőrzi és gazdagítja a természeti tőkét</li> </ul>
	<p><b>Térségi energiaközpontok kialakítása</b>  <b>Körkörös gazdasági előny:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimalizálja a vízrendszerek üzemeltetéséhez felhasznált energia, anyagok és vegyszerek mennyiségét</li> <li>• Optimalizálja az energia vagy az erőforrások vízrendszerből történő kinyerését és maximalizálja azok újrafelhasználását.</li> <li>• Megőrzési és gazdagítja a természeti tőkét</li> </ul>
	<p><b>Feltárás nélküli technológiák alkalmazása hálózatok felújítására</b>  <b>Körkörös gazdasági előny:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimalizálja a vízrendszerek üzemeltetéséhez felhasznált energia, anyagok és vegyszerek mennyiségét.</li> </ul>

### Újszerű megoldások a körforgásos területi vízgazdálkodásban

A területi vízgazdálkodás számos eszköze, mint pl. aszálykezelés, vízvisszatartás, vízkészletli adottságokhoz illeszkedő tájhasználat, művelési mód és művelési ág váltás, vízfelhasználás hatékonyságának javítása szolgálhatja a körforgásos gazdaság céljait. (Bővebben a Kötet „A körkörös gazdasági modell használata (vagy előnyeinek kiaknázása, kihasználása) a területi vízgazdálkodásban” című cikkében található információ.)

#### A települési szennyvíztelepek tisztított szennyvizének újrahasználata

Körkörös gazdasági előny:

- Optimalizálja a vízrendszerek üzemeltetéséhez felhasznált energia és anyagok mennyiségét.
- Optimalizálja a vízhasználatot a vízgyűjtőn belül.
- Vízszegény megoldásokat alkalmaz.
- Optimalizálja az energia vagy az erőforrások vízrendszerből történő kinyerését és maximalizálja azok újra felhasználását.

A kezelt szennyvíz újrahasználata összhangban áll a körforgásos gazdaság elveivel, mivel növeli a felhasználtó vízkészletet, és ösztönzi a hatékony vízfelhasználást.

A városi szennyvíztisztító telepek által kezelt szennyvíz újrahasználatát meghatározó minimumkövetelmények betartása, és a folyamat átláthatóságának biztosítása számos lehetőséget nyújt a tisztított szennyvíz újrahasznosításához.

2. táblázat. Tisztított szennyvíz újrahasznosítási lehetőségei  
 Table 2. Reuse of treated wastewater

Újrafelhasználás	Példa a felhasználásra
Települési felhasználás	Locsolás (parkok, játszótérek, iskolaudvarok), tűzvédelem, építkezés, szökőkutak, városi tavak, épületen belüli felhasználás (pl. WC öblítés) Korlátozott igénybevételű területek öntözése (golfpályák, temetők)
Mezőgazdasági öntözés	Emberi fogyasztásra szolgáló, főzés nélkül fogyasztott növények Takarmány, rosnövények, legelők, faiskolák, gyepek, vízinövények
Pihenési, üdülési célokra történő felhasználás	Fürdés a tavakban, ha az megengedhető, hó készítése a tárolt vízből Horgászat, csónakázás és más, közvetlen érintkezéssel nem járó tevékenységek
Környezetjavító felhasználás	Mesterséges vizes élőhelyek vízpótlása, természetes vizes területeken a víz utánpótlása, patakok táplálása
A talajvíz dúsítás	Talajvíz pótlása
Ipari újra felhasználás	Hűtőrendszerek vízpótlása, kazánvíz, technológiai víz, építkezések vízellátása

A kezelt szennyvíz újrahasználatának egyik legnagyobb gátja a bizalom hiánya, mely a társadalom és az érintettek intenzív bevonásával feloldható.

#### Természetközeli árvízvédelmi megoldások – a fokgazdálkodás

Körkörös gazdasági előny:

- Optimalizálja a vízrendszerek üzemeltetéséhez felhasznált energia és anyagok mennyiségét.
- Optimalizálja a vízhasználatot a vízgyűjtőn belül a szomszédos vízgyűjtő védelme érdekében.
- Vízszegény megoldásokat alkalmaz.
- Megőrzi és gazdagítja a természeti tőkét (pl. folyók helyreállítása, a szennyezés megelőzése).

A klímaváltozáshoz való alkalmazkodás új szemléletet kíván a hagyományos területi vízgazdálkodásban. A hagyományos árvízvédelmi megoldások ugyanis megszakították a kapcsolatot az ártér, és a főmeder között és így szükségessé tették a védművek folyamatos magasztását.

A természetközeli árvízvédelmi megoldások növelhetik az árvizekkel szembeni ellenálló képességet, növelhetik a vízvisszatartást, egyenletessé tehetik a folyók vízjárását, és ellensúlyozhatják az éghajlati szélsőségeket. A folyók levágott kanyarulatainak, a holtágaknak vagy a „használaton kívüli” mélyártereknek a bevonásával meg lehet nyitni az utat a víz előtt az ártér szélesebb és alacsonyabb részei felé, ahogyan korábban az ártér a vízből időszakokban vízzel töltötték fel, halászat (természetes ivóhelyek, halbölcsők kialakítása) és más haszonvételek (pl. legelő, ártéri gyümölcsös stb. öntözése) érdekében. A stagnáló vizeket apadáskor visszavezették a folyó medrébe, és így az ártér ismét más haszonvételekre felszabadították. Az így kialakított vízrendszer leglényegesebb sajátága, hogy egységes rendszerbe kapcsolta az ártér valamennyi álló- és folyó vizét. A rendszer leglényegesebb eleme emellett az "alulról töltés" volt (Halasi Kovács 2010).

## MÉRHETŐ A KÖRFORGÁSOS VÍZGAZDÁLKODÁS?

Az optimális körforgásos átmenet létfontosságú az ágazat, de különösen a kritikus infrastruktúra számára. Ha egy **vállalat/ország** fejlettségének jellemzésére egy mérőszámot lehet rendelni, akkor nyomon követhető a fejlődés, és mérhetővé válik a projektek hatékonysága.

A jól megalapozott körforgásossági fejlettséget mutató mérőszám sajátosságai:

- Referenciaértékként szolgál az ipar számára a *körforgásosság* fejlődésének nyomonkövetésére
- Támponként nyújt a vállalatoknak a *körforgásosság* fejlesztésének tervezése során
- Mérhetővé teszi a projektek *körforgásosságának* hatékonyságát
- Üzenetet fogalmaz meg a politikai döntéshozóknak, felügyeleti szerveknek, (környezetvédelmi) szövetségeknek és hatóságoknak, arról, hogy az ágazat a *körforgásosságban* rejlő lehetőségeket hogyan használja fel.

Az Ellen MacArthur Foundation által kifejlesztett körforgásossági mutató, a Material Circularity Indicator (*Ellen MacArthur Foundation 2016*) figyelembe veszi a felhasznált nyersanyagok eredetét és a késztermék sorsát, és az anyagáramok ismeretében számítja a körforgásosság értékét. Ez az indikátor előzetes felmérésre alkalmas, a víz szállító közeg tulajdonságait, és a vízben található szennyeződések körforgásosságát is figyelembe veszi. A vízszolgáltatás nyújtási és energia közvetítési szerepének figyelembevételéhez azonban ezt az indexet még tovább kell fejleszteni.

A Pannon Egyetem Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratóriuma (*Harasztiné Hargitai R. és társa 2021*) olyan számítási módszert dolgozott ki, amely követi a körforgásos gazdaság szempontjait, ötvözve a vízkör mérésével. A módosított indikátorok lehetővé teszik, hogy a vál-

latok a víz újrahasználati stratégiájukat átgondoltan tudják kezelni, ezzel támogatva a körforgást és a vízkészletek megővését. (Bővebben a Kötet „Körköröségi mértékének számítási lehetősége/nehézsége az élelmiszeriparban” című cikkében található információ).

## A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁGOT TÁMOGATÓ / SZABÁLYOZÓ ESZKÖZÖK

Bár a körforgásos gazdaságot az innováció és a digitalizáció hajtja, ám megfelelő közigazgatási eszközök (pl. engedélyezés, szabályozási tilalmak, szabványok, stratégiák), gazdasági eszközök (pl. adók, díjak, tarifák, támogatások) és termékpolitikai eszközök (pl. címkék, tanúsítványok, tájékoztató kampányok) nélkül az állás megvalósíthatatlan.

### Közigazgatási eszközök - szabályozások, szabványok, stratégiák

Már 1991-ben, a 91/271 a települési szennyvíz kezeléséről rendelkező irányelvben megfogalmazódik a szennyvízhasznosítási cél: „A kezelt szennyvizet, ha csak lehet, ismét fel kell használni. A felhasználás módjának olyannak lennie, hogy az a lehető legkisebb mértékben terhelje a környezetet” (*EUR-Lex 1991*).

A 2000-ben megfogalmazott VKI (2000/60/EK irányelv – a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteiről) is a körkörös gazdasági elveire támaszkodik (*EUR-Lex 2000*). 2015-ben a Európai Bizottság egy jogalkotási csomagot fogadott el, az Első körforgásos gazdaság cselekvési tervet, amelynek a célja a körforgásos gazdasági rendszerre történő áttérés támogatása volt. 2020 márciusában jelent meg az új körforgásos gazdaságra vonatkozó cselekvési terv (CEAP). Ennek keretében elindult a hulladékszállításra, textiliparra, környezettudatos tervezésre, a hulladékban tartósan megmaradó szerves szennyező anyagok koncentrációs határértékére, a csomagolási hulladékokra és az ipari kibocsátásokra vonatkozó uniós szabályok felülvizsgálata.

*A vízről...*

2020. május 25-én jelent meg az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2020/741 rendelete a víz újrafelhasználására vonatkozó minimumkövetelményekről, mely új szabályokat javasolt a víz mezőgazdasági öntözési célú újrahasználatának ösztönzése és megkönnyítése érdekében. Az új szabályok segítenek a gazdálkodóknak a lehető legjobban felhasználni a kezelt szennyvizet, enyhíteni a vízhiányt, és közben védeni a környezetet és a fogyasztókat.

*A rendelet*

- **Minimumkövetelményeket** határoz meg tisztított települési szennyvíz újrahasználatára vonatkozóan
- **Kockázatkezelést** ír elő a víz biztonságos újra használata érdekében.
- **Továbbá fokozott átláthatóságot** javasol.

### Gazdasági eszközök (Adók, tarifák, támogatások)

Adók, szolgáltatási díjak, támogatások, termékdíjak (pl. műtrágya, peszticid adó), visszaváltási rendszerek és kvóták, betétdíjak fontos gazdasági eszközök, melyek jelentős hatással lehetnek a piacra. Konkrétan a vízgazdálkodást, illetve a vízhasználókat illető, Magyarországon eddig alkalmazott gazdasági szabályozási eszközök:

- víz- és csatornadíjak,
- vízkészletjárulék,
- vízterhelési díj,

- talajterhelési díj,
- vízszennyezési bírság, csatornabírság, vízvédelmi bírság,
- a bányajáradék, mint speciális eszköz.

A gazdasági eszközök alkalmazásával a környezeti és erőforrás költségek és hasznok beépíthetőek a termék vagy szolgáltatás árába, és ösztönzik a körkörös gazdaságra való áttállást. Fontos a VGT-ben megfogalmazott gazdaságsszabályozási eszköz, az önkéntes megállapodások rendszere

és korlátos készletek elosztására kidolgozott, allokációs mechanizmus (OECD 2017).

A környezetvédelem céljából bevezetett adók, díjak, járadékok és egyéb fizetési kötelezettségek hatása közvetlenül érvényesül, míg például az ÁFA, különböző egyéb adókedvezmények, melyek nem környezeti jellegű bevételek, ám közvetett szabályzó eszkö-

zök lehetnek (Nagy 2014).

A központi adók (társasági adó és az általános forgalmi adó) tevékenység alapon ma Magyarországon nem preferálják a különböző vízgazdálkodási, vízvédelmi területeket. A víziközmű szektort kedvezőtlenül érintik a szektorális különadók, beleértve a közműadót is (Nagy 2014).

A vízről...

- Öntözés esetében a vízkészlet használati engedély például a vizek használatával kapcsolatos kvótarendszereken alapul.
- A környezetterhelési díj rendszer
  - Vízterhelési díjat a felszíni vizeket érő vízterhelő anyagok kibocsátása után kell fizetni.
  - Talajterhelési díjat annak a kibocsátónak kell fizetnie, aki a közsatornára nem köt rá, és egyedi szennyvízelhelyezést, ideértve az egyedi zárt szennyvíztározót is, alkalmaz.

### Termékpolitikai eszközök (pl. címkék, tanúsítványok, tájékoztató kampányok)

A fenntartható fogyasztást és termelést támogató ökokocímke-rendszer a fogyasztás és a termelés által a környezetre, az egészségre, az éghajlatra és a természeti erőforrásokra gyakorolt negatív hatások csökkentésére irányul. Néhány hazai ökokocímke: a BREEM-környezet-tudatos épületminősítési rendszer, a Környezetbarát Termék, az Európai uniós ökológiai logó és a Magyar Termék Nagydíj.

### ÖSSZEFOGLALÁS

Paradigmaváltás korszakát éljük! Ismerkedünk a körforgásos gazdasággal, annak alapelveivel és a jó gyakorlataival.

A lineáris gazdasági modell fenntarthatatlanságának felismerése vezetett az ezredfordulón egy új, erőforrásokkal hatékonyan gazdálkodó, körforgásos gazdasági modell bevezetésére, mely újra definiálja a víz körforgását. A körforgásos vízgazdálkodásban a víz funkciói (szolgáltatásnyújtás, energiaközvetítés és szállító közeg) és felhasználási területei (ipari, települési és területi vízgazdálkodás) közötti kapcsolat egy integrált vízgazdálkodási modellel teremthető meg, mely számos újszerű és meghökkentő (diszruptív) almodelltől épül fel. Ezek az almodellek átszövik és összekapcsolják a tervezést, kivitelezést és üzemeltetést, érintik a szolgáltatókat, a vállalkozókat és a felhasználókat, jelentős feladatokat adva a vállalati menedzsmentnek és az államigazgatásnak is.

A hosszú távú nemzeti erőforrás menedzsment érdekében a jó kormányzati munkát támogathatja az erős intézményrendszer, az életciklus alapú közbeszerzési értékelési rendszer, a természeti erőforrás hatékonyság javítása, a tudásmegosztás és innováció célzott támogatása és az integrált vízgazdálkodás

Bár a körforgásos gazdaságot az innováció és a digitalizáció hajtja, ám megfelelő közigazgatási eszközök (pl. szabályozási tilalmak, szabványok, stratégiák), gazdasági eszközök (pl. adók, tarifák, támogatások) és termékpolitikai eszközök (pl. címkék, tanúsítványok, tájékoztató kampányok) nélkül az átállás megvalósíthatatlan.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Megköszönöm dr. Ijjas István professzor úrnak és dr. Rákosi Juditnak az értékes megjegyzéseket, amiket a kézirat-hoz fűztek, segítve munkámat.

### IRODALOMJEGYZÉK

Baranyai G. (2019). European water law and hydropolitics: an inquiry into the resilience of transboundary water governance in the European Union. Doktori értekezés, Pázmány Péter Katolikus Egyetem Jog- és Államtudományi Doktori Iskola, Budapest.

BDL (2016).

<https://www.bdl.hu/tevekenysegeink/gazdasagi-tervezes/dinamikus-koltsegelemzes-dcc-muszaki-tervezesi-feladatokhoz>

Bioregional (2019). Six features of circular economy business models  
<https://storage.googleapis.com/www.bioregional.com/downloads/Bioregionals-circular-economy-business-model-features-matrix.pdf>

Bonilla, Hernández A. (2019). Process Sustainability Evaluation for Manufacturing of a Component with the 6R Application. 16<sup>th</sup> Global Conference on Sustainable Manufacturing - Sustainable Manufacturing for Global Circular Economy.  
[https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1009&context=ism\\_facpub](https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1009&context=ism_facpub)

Csiffáry N., Gadácsi R., Szóráth Z. (2019). Hozd magad körforgásba! Herman Ottó Intézet  
<http://www.hermanottointezet.hu/hozd-magad-korforgasba-utmutato-kkv-k-reszere-korforgasos-gazdasagrol>

Ellen MacArthur Foundation (2013). Towards the circular economy Economic and business rationale for an accelerated transition Vol. 1. Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf  
(ellenmacarthurfoundation.org)

Ellen MacArthur Foundation (2016). The Circular Design Guide. <http://circulardesignguide.com/>

Ellen MacArthur Foundation (2018). Water-and-Circular-Economy White-paper.  
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/ce100/Water-and-Circular-Economy-White-paper-WIP-2018-04-13.pdf>

EUR-Lex (1991). <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1991L0271:20031120:HU:PDF>

EUR-Lex (2000). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:l28002b&from=HU>

*Európai Bizottság* (2020). A tisztább és versenyképesebb Európát szolgáló, körforgásos gazdaságra vonatkozó új cselekvési terv. COM(2020) 98 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0098&from=EN>

*European Commission* (2015). Closing the Loop - an EU Action Plan for the Circular Economy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>

*Európai Parlament* (2015). Körkörös gazdaság: mit jelent, miért fontos és mi a haszna? <https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/economy/20151201STO05603/korkoros-gazdasag-mit-jelent-miert-fontos-es-mi-a-haszna>

*European Policy Center* (2020). The digital circular economy, A driver for the European Green Deal. [https://www.epc.eu/content/PDF/2020/DRCE\\_-\\_Executive\\_summary1.pdf](https://www.epc.eu/content/PDF/2020/DRCE_-_Executive_summary1.pdf)

*Global Water Partnership* (2015). Integrált Vízgazdálkodás Kelet- és Közép-Európában, [gwp\\_tech\\_focus\\_paper\\_no\\_8\\_hungarian.pdf](http://www.gwp.tech/focus/paper_no_8_hungarian.pdf)

*Halasi Kovács B.* (2010). A fokgazdálkodás, mint a hagyományos ártéri gazdálkodás kulcseleme <http://www.terra.hu/cian/fok.html>

*Harasztiné Hargitai R., Somogyi V.* (2021). Körköröség mértékének számítási lehetősége/nehézsége az élelmiszeriparban. *Vízügyi Közlemények*, megjelenés alatt.

*Het Groene Brein* (2020). How does circularity relate to sustainability? <https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/en/knowledge-map-circular-economy/related-schools-of-thought/>

*Ijjas I.* (2019). Integrált vízgazdálkodás. A hidrinformatika születése – Európai és globális integráció. Typotex. ISBN 978 963 493 063 1.

*Ipar 4.0 Mintagyárak* (2018). <https://ipar4.hu/medias/47/ipar4.0ismerteto2018-05.pdf>

*IWA* (2020). Water For Smart Liveable Cities [https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2015/12/SoG\\_WhitePaper\\_WaterForSmartLiveableCities\\_210x297\\_V13\\_WEB.pdf](https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2015/12/SoG_WhitePaper_WaterForSmartLiveableCities_210x297_V13_WEB.pdf)

*Nagy Z.* (2014). A környezetvédelmi adózás. [http://www.vmtt.org.rs/mtn2014/194\\_211\\_Nagy.pdf](http://www.vmtt.org.rs/mtn2014/194_211_Nagy.pdf)

*Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács* (2019). A Nemzeti Fenntartható Fejlődési Keretstratégia harmadik előrehaladási jelentése 2017-2018. [https://www.parlament.hu/documents/1238941/1261771/NFFS\\_3EHJ.pdf/5f6c02dc-0720-1cfe-f926-272ead306659?t=1575543833848](https://www.parlament.hu/documents/1238941/1261771/NFFS_3EHJ.pdf/5f6c02dc-0720-1cfe-f926-272ead306659?t=1575543833848)

*OECD* (2017). Policy Instruments for the Environment. [https://www.oecd.org/environment/tools-evaluation/PINE\\_database\\_brochure.pdf](https://www.oecd.org/environment/tools-evaluation/PINE_database_brochure.pdf)

*OVF* (2015). Magyarország felülvizsgált 2015. évi vízgyűjtő-gazdálkodási terve. <https://www.vizugy.hu/index.php?module=vizstrat&programelemid=149>

*OVF* (2021). Magyarország Vízgyűjtő-gazdálkodási Terve – 2021. <https://vizeink.hu/vizgyujto-gazdalkodasi-terv-2019-2021/vgt3-vitaanyag/>

*Pálincás J.* (2018). Tudomány és innováció a negyedik ipari forradalomban. Előadás. <https://nkfih.gov.hu/hivatalrol/eloadasok-publikaciok/palincas-jozsef-tudomany>

*Nemzeti Közszolgálati Egyetem* (2020). A digitális vízgazdálkodás jövője. <https://vtk.uni-nke.hu/hirek/2020/12/12/a-digitalis-vizgazdalkodas-jovoje>

*2000/60/EK* (2000). Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve, a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról. Az Európai Unió Hivatalos Lapja, 15/5, Brüsszel, pp. 275-346.

## A SZERZŐ



**MAJOR VERONIKA**, egyetemi doktor, okl. gépészmérnök (Budapesti Műszaki Egyetem), jogi szakokleveles mérnök (Eötvös Loránd Tudományegyetem). A Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség alelnöke, a Műszaki Igazságügyi Szakértői Testület tagja, a Magyar Hidrológiai Társaság Hidrológiai Közlöny szerkesztőbizottsági tagja, Benedek Pál-díjas.



## A körkörös gazdasági modell kiaknázása a területi vízgazdálkodásban

Murányi Gábor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék,  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (muranyi.gabor@emk.bme.hu)

### Kivonat

A klímaváltozás hatásai érzékelhetők a vízgazdálkodásban, a csapadékok térbeli és időbeli eloszlása egyre kedvezőtlenebbé válik, az időnként jelentkező nagy csapadékesemények közt pedig szárazság alakul ki. E mellett kezelni kell az árvíz, a belvív és az aszály kockázatát is. A területi vízgazdálkodás jelen helyzetben felülvizsgálatra szorul, új stratégia kidolgozása szükséges, mely javítja a meglévő rendszerek rugalmasságát és integrálja azokat egy olyan természet-alapú rendszerbe, mely megfelel a körkörös gazdaság elvárásainak is. A körkörösség ebben az esetben a víz- és a talaj körforgásának zárását jelenti, elősegítve a vízkészletek megújulását és az erodált termőtalaj visszapótlását. Az új rendszer eszköztárát a természetes vízmegtartó megoldások és a célzott felszín alatti vízutánpótlás adják. Először ismertetésre kerül az eszköztár, majd a területi vízgazdálkodás egyes szakágait számba véve bemutatásra kerülnek nemzetközi és hazai példák a jó gyakorlatokról. A felmerülő konfliktus helyzetek sem maradtak ki, ezek feloldási lehetőségei is megjelennek. Végezetül egy olyan új stratégia körvonalai rajzolódnak ki, amely klímaadaptív és természetközpontú megoldásaival Magyarország vízkészleteinek gyarapodását segíti.

### Kulcsszavak

Természetközeli megoldás, mélyártér, víz visszatartás, vízpótlás, hajózás, megújuló energia.

## Exploitation of the circular economy model in territorial water management

### Abstract

The effects of the climate change are sensible in the water management. In Hungary, the spatial and temporal distribution of precipitation will be more unfavorable. Between the large precipitation events the phenomena of aridity occurs. Along these problems, the risks of flood, inland excess water and drought need to be handled. The territorial water management need a review in this situation. The development of territorial water management is necessary, to increase the efficiency and flexibility of the existing water systems and integrate them into the new nature-based system that meets the requirements of the circular economy. In this case, the meaning of circularity is equal to the closing of water and soil cycle. The replenishment of water resources and soil is the aim of the circularity. The Natural Water Retention Measures and the Managed Aquifer Recharge are tools of the new territorial water management system. This paper gives a brief description of these tools and shows the circular possibilities of each territorial water management discipline through international and Hungarian examples. Conflict situations have not been left out either and the possibilities for resolving them also appear. Finally, the outlines of a new strategy are emerging, which will help Hungary to increase its water resources with its climate-adaptive and nature-based solutions.

### Keywords

Nature-based solution, deep floodplain, water retention, water replenishment, inland water navigation, renewable energy.

### BEVEZETÉS

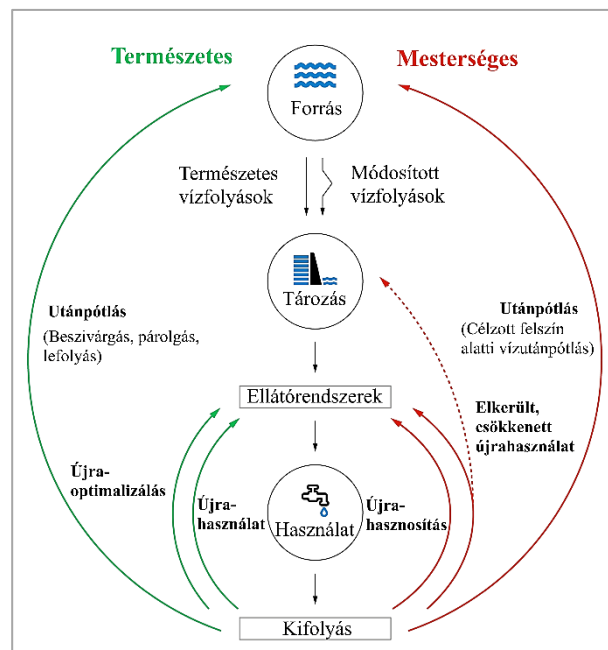
A területi vízgazdálkodás (a továbbiakban: TRVG) alatt általában egy komplex, nagyobb térségre jellemző vízkormányzási stratégiát értünk, úgymint árvízvédelem, belvízvédekezés, sík- és dombvidéki vízrendezés, azaz vízkárelhárítás, továbbá mezőgazdasági vízgazdálkodás, térségi vízszétosztás, folyó- és tógazdálkodás, vízi utak, vízenergia-hasznosítás, azaz vízhasznosítás. Összegezve, a TRVG célja a kockázatok csökkentése, melynek feladatai megoszljanak a mezőgazdaság és a vízgazdálkodás között. Hazánkban a túlzott vízbőség sokszor gátat szab a növénytermesztésnek a síkvidéki területeken, míg dombvidéki területeken a lefolyás okozta erózió jelenti inkább a kockázatot. Az elmúlt időszakban a klímaváltozás, a gazdasági növekedés igénye és a területfejlesztések, területhasználatok alakulásának egy hármas problémája nehezíti az TRVG egyes szakterületeinek működését (*Nováky és társai 2011, OVF 2017*). Mivel a kockázat Bayes-féle fogalma szerint a veszteség várható értéke a károkozás mértékének és a kárt előidéző esemény bekövetkezési valószínűségének szorzataként áll elő, ez előre vetíti, hogy a kockázat csökkentés két irányból közelíthető meg. Vagy a kárt okozó

esemény bekövetkezésének valószínűségét kell csökkenteni, azaz investálni a vízkárelhárításba, vagy a károkozás mértékét kell mérsékelni, ami jelentheti például a meglévő vegetáció cseréjét szárazságtűrő növényfajokkal, ha a szárazság kockázatáról beszélünk, de jelentheti akár a terület-használat váltását is. A klímaváltozás tükrében szükséges az egyes beavatkozásokat értékelni. Ugyan a klímamodellek megbízhatósága, a jövőre adott becslése megkérdőjelezhető a túl sok befolyásoló paraméter végett, különösen, ha a kistérségi lépték felé haladunk, általánosan elfogadhatjuk, hogy gyakoribbá fognak válni az időjárási szélsőségek (hőhullámok, nagycsapadékok) és ezek intenzitása és tartóssága is növekedni fog. Az 1961-1990-es időszakhoz viszonyítva 2021-2040-es években Magyarországon a hőmérséklet növekedése várható éves és évszakszinten is, mely az Alföldön lesz a legjelentősebb és a Dunántúlon lesz a legkisebb mértékű. A csapadékos napok számában inkább csökkenés várható, ugyanakkor növekedni fog a nagyobb csapadékok gyakorisága és a száraz időszakok hossza. Ez a tavak vízháztartásának romlása felé mutató folyamatot jelent. A hőmérsékelt emelkedésével a párolgás növekedése rendkívül kedvezőtlenül érint-

heti a sekély tavakat. A heves csapadékesemények villámárvizek kialakulásához vezetnek, a vizek gyors lefutásával azonban csökkenni fog a talajba történő beszivárgás mértéke is (Nováky 2011). Az alföldi régiót érintő, több méteres talajvízszint csökkenés már most is ismeretes (Mezősi 2009). Ahhoz, hogy a várható kedvezőtlen hatásokat enyhítsük, klíma adaptív megoldások szükségesek. Ehhez segítséget jelent a közközgazdaságban is utat törő körkörös szemlélet.

A természetben körfolyamatokat találunk. Ilyen a víz körforgása is, mely természetszerűleg biztosítja a forrásvidék vízkészletének megújulását, szabályozza a lefolyást és a vízminőséget. Azoknál a rendszereknél, ahol emberi beavatkozás történt, jellemzően a körkörösség megszűnt, a gazdasági növekedés lineáris modellje érvényesül. Ez a vizek túlhasználatahoz, a vízminőség romlásához vezet. A lineáris modell újragondolásához jelent alternatívát a körforgásos gazdaság (Nika és társai 2020). Ahhoz, hogy a XXI. század kihívásainak meg tudjon felelni, aligha elkerülhető, hogy a TRVG a körkörös gazdaság szemléletét adaptálja az integrált vízgazdálkodás rendszerébe. Ehhez szükséges az alapelveket lefektetni. Erre tett kísérletet több vállalati testület is fehér könyvekben (Nika és társai 2020). Az Arup, az Antea Group és az Ellen MacArthur Foundation (2018) holisztikus megközelítést alkalmazott. A jelenlegi, lineáris modell szerint a felszíni vagy felszín alatti vizekből megtörténik a vízkivétel, a víz felhasználásra kerül a hagyományos módokon, a lakossági, az ipari vagy a mezőgazdasági vízigény kielégítésére, majd a felhasználás folyamatában beépítésre nem került víz jobb esetben szennyvíztisztítást követően visszajut a vízgyűjtőterület egy pontjára, a befogadóba. A kivétel-használat-kibocsátás megközelítés ellentétes a körkörös gazdaság alapelveivel (Arup és társai 2018). Mivel a Víz Keretirányelv (2000/60/EK) szerint a legkisebb tervezési egység a vízgyűjtő, ezért ennek megfelelően összegezzük a körkörös rendszer kilátásait. A vízgyűjtőterület tulajdonságai nagyban befolyásolják, hogy milyen megoldásokat lehet alkalmazni. Figyelembe kell venni a vizsgált terület klimatikus és domborzati adottságait, a jelen lévő települések nagyságát és fejlettségét és a vízhasználatok célját. A víz rendszerszerű hasznosítását tekintve megkülönböztethetjük a természetes és a mesterséges folyamatokat a vízgyűjtőn. A természetes vízkörforgás során megtörténik az újra-optimalizálás, az újrafelhasználás és az utánpótlás. Az újra-optimalizálás alatt az ökoszisztéma és biodiverzitás fenntartásához szükséges vízellátás biztosítása értendő, mely az ökoszisztéma összetettségétől, az éghajlattól és a növény- és állatvilág alkalmazkodóképességétől függ. Az újrafelhasználás a természetes ciklusban víz „kezelését”, megtisztulását jelenti, ahogyan a lefolyás során a víz a flórával és a faunával kapcsolatba lép. A párolgás, beszivárgás vagy felszíni lefolyás a vízkészlet utánpótlásáért felel. A mesterséges rendszerben – azaz az emberi beavatkozással érintett természeti rendszerben – a vízkészlet felhasználás mértéke meghaladja az utánpótlás mértékét, a vízvesztés növekszik a nem hatékony öntözési és szétosztó rendszerek használata következtében, a vízszennyezés hatására pedig az újrafelhasználás lehetőségei csökkennek. Ezek mindegyike hatással van a természetes vízkörfor-

gásra, ökonómiai és ökológiai veszteségekhez vezet, illetve az emberi szükségletek kielégítéséhez további költségeket generál. A két rendszert mutatja be az 1. ábra.



1. ábra. Körkörös vízrendszer modellje Arup és társai (2018) nyomán

Figure 1. System Diagram of Water in the Circular Economy (Arup et al. 2018)

A mesterséges rendszer összehangolása a természetes rendszerrel a következő intézkedések mentén lehetséges:

- A felhasználás elkerülése: az egyes termékek és szolgáltatások újragondolásával, a hatástalan módszerek megszüntetésével.
- A felhasználás csökkentése: a vízhasználat hatékonyságának növelését és az erőforrások jobb szétosztását célzó folyamatos fejlesztések ösztönzésével.
- Az újrafelhasználás erősítése: az egyes folyamatokon belül minden lehetőség kiaknázása az újrafelhasználáshoz (a hurok bezárása), vagy a használat közelében történő újrafelhasználás elősegítése.
- Újrahasznosítás: a belső technológiai folyamatokban, vagy külső alkalmazásokban.
- Utánpótlás: a víz hatékony és eredményes visszajuttatása a vízgyűjtő területre (Arup és társai 2018).

Az anyag és energiaáramlások hurkait oly módon kell bezárni, hogy ezek pozitív hatással legyenek egymásra és közben segítsék a vízre épülő szolgáltatások (fogyasztás, termelés, termék előállítás) működését is.

Kézenfekvő megoldás a városok esetén a szennyvízkezelés fejlesztése, a tisztított szennyvíz újrafelhasználása mezőgazdasági területeken öntözésére, célzott vízpótlásra, vagy legvégső esetben akár a városi vízkör zárása az ivóvízellátáshoz való kapcsolódással, továbbá számos lehetőség rejlik a szennyvíziszap hasznosításában is. A TRVG szempontjából a körkörös megközelítés elsősorban nehezebben értelmezhetőnek tűnik. Számba kell vennünk a természetes folyamatokat, megvizsgálni, azokat milyen közvetett vagy közvetlen emberi hatás érte és ennek alapján megha-

tározunk a lehetséges eszközrendszert. Az bizonyos, hogy a víz körforgásához, mint természeti rendszer működéséhez próbálunk közelebb férkőzni, így kiindulásként a már kidolgozott természetközeli eljárásokra támaszkodhatunk.

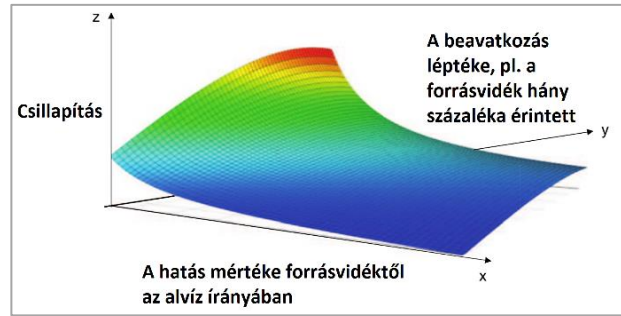
## A KÖRKÖRÖS SZEMLÉLETHEZ IGAZODÓ MEGOLDÁSOK

### A természetközeli vízgazdálkodási megoldások rövid ismertetése

A természetes vízvisszatartási eljárások nem újkeletűek. A 2000-es évek óta egyre többször bukkanak fel, különböző elnevezéseket alkalmazva. Ezek nem feltétlenül szinonimái egymásnak, egyes elnevezések jobban hangsúlyozzák a módszer specifikus célját. A teljesség igénye nélkül:

- Természetes árvíz menedzsment (Natural Flood Management – NFM);
- Építés a természettel (Building with Nature – BN);
- Készítsünk helyet a víznek (Making Space for Water – MSW);
- Teret a folyónak (Room for the River – RFR);
- Természet alapú megoldások (Nature Based Solutions – NBS);
- Munka a természetes folyamatokkal (Working with Natural Processes – WNP);
- Vízmegőrzés természetre alapozott módszerei (Natural Water Retention Measures – NWRM) (Strosser és társai 2015, cbec 2017).

A módszerekben közös, hogy az emberi beavatkozások által jelentősen átalakított vízgyűjtőkön terveznek, vagy ajánlanak lehetséges megoldásokat, melyekkel csökkenthető az árvízi kockázat, az aszály- és a belvíz kockázata, illetve válaszolnak a klímaváltozás jelentette kihívásokra is. Az eszközrendszer a vizek visszatartását többek közt a lefolyás csökkentésével, a beszívargás mértékének növelésével, a folyók szabályozottságának csökkentésével, a meanderező jelleg visszaállításával, a hullámtér növelésével, víztározók és vizenyős területek, úgynevezett vizes élőhelyek (wetland-ek) létesítésével igyekszik elérni. Minden megoldás esetén fontos, hogy a szemlélet lokális beavatkozások esetén is működőképes, nem csak a vízgyűjtő szintű beavatkozások esetében. Azonban szem előtt kell tartani, hogy ezek a megoldások nem univerzálisak, és a vízgyűjtők egyedi adottságainak részletes feltárása nélkül nem tervezhetők. Sőt, amennyiben egy vízgyűjtő szintű beavatkozást nem előz meg egy komplex vizsgálat, előfordulhat, hogy éppen ellentétes hatás fog kialakulni, azaz az árvízszintek emelkedhetnek. Továbbá jól kell megválogatnunk, hogy a vízgyűjtő mely területén milyen megoldásokat szeretnénk alkalmazni. Mint arra Lane (2017) is rámutat, az egyes beavatkozások annál nagyobb hatást gyakorolnak a lefolyás csillapítására, minél inkább a felvízi szakaszon történnek meg, és minél nagyobb mértékben terjednek ki a teljes forrásvidékre (Lane 2017). Ezt szemlélteti a 2. ábra.



2. ábra. Összefüggések a beavatkozás léptéke és hatása, valamint a beavatkozással elért csillapítás között (szerkesztve) (Forrás: Lane 2017)

Figure 2. The interactions between the scale of the intervention and the scale of the impact in relation to attenuation (modified) (Source: Lane 2017)

A szemléletek alakulásában tetten érhető az ökoszisztéma szolgáltatások előtérbe kerülése. Míg az NFM módszer első megjelenési formájában inkább csak az árvizek kezelésére koncentrált természetközeli megoldásokkal, addig az NWRM már integrálja a célok közé a biológiai sokféleség javítását, a vízminőség javítását és a közszolgáltatásokat is. Ezzel viszont teret nyit az interdiszciplináris tervezés felé. Még eddig az integrált vízgazdálkodás volt a célkitűzés, rá kell jönnünk, hogy nem oldható meg a probléma „csak vízmérnöki” módszerekkel. Integrált vízgyűjtő-gazdálkodásra van szükség, melybe minden érintettet be kell vonni, úgy, mint a városstervezőket, mezőgazdasági szakembereket, erdészeket, biológusokat, ökológusokat. Mivel több terület szakértőinek kell közös nevezőre jutniuk, az Európai Unió NWRM irányelve (WG PoM 2014) rendelkezésre bocsátja a kivitelezés elősegítéséhez a szükséges lépések metodikáját.

### Az NWRM intézkedések céljai és metodikája

Az elsődleges vezérlő elv több teret biztosítani a természetnek, ezáltal javítani vagy létrehozni új természeti funkciókat vagy ökoszisztémákat. Ennek előnye az épített, ún. szürke infrastruktúrával szemben, hogy a természetes folyamatok kevésbé igénylik a karbantartást, fenntartást és tájba illeszkedő megjelenésükkel társadalmilag jobban elfogadhatók. Az ökoszisztéma szolgáltatások révén az NWRM sokrétű hasznot nyújt, úgy, mint a biológiai sokféleség javítása, vízmegőrzés szabályozása, vízkészletek pótlásával a víz hozzáférhetőségének javítása vagy az árvíz-kockázat csökkentése. A módszer alkalmazása mellett szól továbbá, hogy számos EU szakpolitika megvalósítását támogatja. A vizes élőhelyek létrehozásával és a vízminőség javításával eleget tesz a Víz Keretirányelv célkitűzéseinek, az árvízi kockázat csökkentésével összhangban van az Árvíz Irányelvvel, a biológiai sokféleség növelésével pedig az EU Biodiverzitás Stratégiájának célkitűzéseivel is hozzájárul. Több szakpolitika már hivatkozik az NWRM-re, mint a célok elérésének lehetséges eszközére. Mivel a természet alapú megoldások alkalmazását helyezi előtérbe, a beruházási-, üzemeltetési- és karbantartási költségek is alacsonyabbak lehetnek. A költséghatékony megoldás persze csak akkor érhető el, ha a kiválasztott beavatkozási területen például a terület megváltása vagy megvásárlása a piaci árszintnél nem magasabb árszinten történik.

Az NWRM intézkedések finanszírozására számos lehetőség van, tekintve, hogy széles körben elérhetőek EU szintű támogatások, mint például az Európai Regionális Fejlesztési Alap (ERFA), Európai Szociális Alap (ESF), Európai Mezőgazdasági Fejlesztési Alap (EAFARD), a LIFE projekt vagy a HORIZON 2020 kutatási program (*Strosser és társai 2015*).

Az NWRM támogató dokumentuma szerint a megvalósítás a következő öt lépésre támaszkodik:

1) Először is, a tervezési folyamat során fel kell mérni a beavatkozással érintett vízgyűjtőt és a beruházási célterületet. Meg kell határozni, hogy mely szakpolitikáknak és azok mely célkitűzéseinek elérése érdekében folyik a tervezés és az ehhez szükséges bemeneti adatokat, úgy, mint például a biológiai, fizikai adottságok, társadalmi és gazdasági jellemzők elő kell állítani, be kell gyűjteni.

2) A számos lehetséges NWRM megoldás közül ki kell zárni azokat, melyek nem relevánsak a vizsgált vízgyűjtőn, például technikai korlátokba ütközik a megvalósíthatóságuk, a hasznossága és a hatékonysága feltehetően korlátozott, helyspecifikus adottságok akadályozzák a megvalósítást, úgy, mint biofizikai- vagy szocio-gazdasági feltételek. Az egyes javasolható intézkedések hatásmátrixát<sup>1</sup> a honlapon nyilvánosan hozzáférhetővé tették. Ezek segítséget nyújtanak a megfelelő intézkedés, vagy intézkedés csomag meghatározásában.

3) A harmadik, talán legnehezebb feladat a lehetséges hatások és a hatékonyság felmérése, számszerűsítése és összehasonlítása. A beavatkozások hatékonysága több tényezőtől függ, például az adott rendszer nagysága, az intézkedések összekapcsolása, helyi feltételek és az intézkedések viszonylagos helye a vízgyűjtőn stb. A hagyományos költség-haszon elemzésben egyetlen pénzügyi költség és az ahhoz társított egyetlen hatás kerül figyelembevételre, míg az NWRM intézkedéseknek komplex költség-szerkezetük van. Most csak az NWRM módszertana került bemutatásra, a költség-hatékonyság számításának lehetőségei nem kerülnek részletezésre. Ezek az NWRM szintézis dokumentumaiban<sup>2</sup> részletesen kifejtésre kerültek, mely a világhálón elérhető.

4) A megvalósíthatóságot újra ellenőrizni kell, tekintettel arra, hogy a felderített helyzet bonyolultabb lehet, mint a tervezés elején becslésre került, illetve olyan szervezetek – kormányhivatalok és NGO-k egyaránt – kapcsolódhatnak be, melyek más szakpolitikai célok elérésében érdekeltek, ezért a tervezett projekt finomhangolása szükséges. Azonosítani kell a felelős szerepköröket, megfelelő irányítást kell létrehozni. Vizsgálni kell, hogy az intézkedések mely beruházási ciklusban valósíthatók meg a legjobban, továbbá meg kell győződni róla, hogy a pénzügyi erőforrások rendelkezésre állnak-e.

5) A felelős előkészítést követően a tervezett intézkedéseket végre kell hajtani, mely során folyamatos egyeztetés szükséges az érintett résztvevők között. A projektet folyamatosan figyelemmel kell kísérni, ki kell értékelni, szükség esetén korrekciókat kell eszközölni. Fontos a kommunikáció és a projekt eredményeinek széleskörű elérhetősége. Ez biztosítja az alapot a jövőbeni projektek jobb politikai koordinációjának és javítja a hatékonyságot (*Strosser és társai 2015*).

Az NWRM hivatalos honlapján rengeteg megvalósított példa található, mely a fent vázolt szellemiségnek megfelelően, informálisan mutatja be az egyes projekteket, a szerzői jogok megsértése nélkül. Hazánk területéről is találhatóunk projekteket, ezek rövid áttekintése az egyes TRVG szakágakon belül történik. Ugyanott meg kell jegyezni, hogy a fragmentált, szakágakra és szakterületekre széteső kezelés nem helyes megközelítés, a problémákat komplexitásuknak megfelelően, egységben gondolkodva kell orvosolni.

### A célzott felszín alatti vízutánpótlás rövid ismertetése

A vízpótlás már régóta ismert eljárás a vízgazdálkodásban. A természetes alapú megoldások nemzetközi szinten egyre elterjedtebbek. Ezekhez kapcsolhatunk egy újabb fogalmat, a célzott felszín alatti vízutánpótlást (Managed Aquifer Recharge – MAR). Az NWRM első sorban a felszíni vizek kezelésére és a hozzájuk kapcsolható ökoszisztéma szolgáltatásokra fókuszál, addig a MAR ennek kiegészítőjeként alkalmazható a felszín alatti – általában természetes – tározókapacitás, mint „vízmegtartó megoldás” kihasználására. Ez a módszer lehetőséget kínál a víztöbblet és a vízhiány kiegyenlítéséhez, biztosíthatja a stabilabb vízellátást és segítheti a klímadaptációt (*Szabó és társai 2020*). A MAR ezzel szintén kapcsolódik a körkörös szemlélethez, hiszen a módszer önmaga az egyik körkörös cél, a célzott felszín alatti vízutánpótlás. Mint ahogyan az NWRM, úgy a MAR sem egy univerzális megoldás. A módszerek alkalmazhatóságát, a környezetre gyakorolt hatásukat minden egyes esetben külön-külön vizsgálni és alátámasztani szükséges. A MAR egyik lehetséges csoportosítása a következő:

- Elsősorban víz beszivárogatására, pótlására irányuló módszerek:
  - Felszíni beszivárogatás:
    - árkok és barázdák;
    - altalaj öntözés;
    - többletöntözés;
    - árasztás;
    - beszivárogató tavak és medencék.
  - Parti szűrés:
    - parti szűrés folyó vagy tó partján;
    - dűne szűrés.
  - Kúton, aknán vagy fűrőlyukon keresztüli víz-pótlás:
    - tározás (szállítás) víztartó rétegben és kitermelés;
    - sekély/ásott kúton, aknán keresztüli víz-pótlás.

<sup>1</sup>NWRM hatásmátrix: <http://nwrn.eu/catalogue-nwrn/benefit-tables>

<sup>2</sup>NWRM szintézis dokumentumok: <http://nwrn.eu/implementing-nwrn/synthesis-documents>

- Elsősorban a víz felfogására, összegyűjtésére majd beszivárogtatására irányuló módszerek:
  - Medermorfológia módosítás:
    - meder horizontális kiterjesztése;
    - utánpótlódást segítő gát;
    - homok kitöltésű tározótér + gát;
    - felszín alatti gát.
  - Esővíz és felszíni lefolyás összegyűjtése és felhasználása:
    - gátak és töltések;
    - esővíz összegyűjtése háztetőkről és felszín alá juttatása;
    - árkok a felszíni lefolyás összegyűjtésére (Szabó és társai 2020).

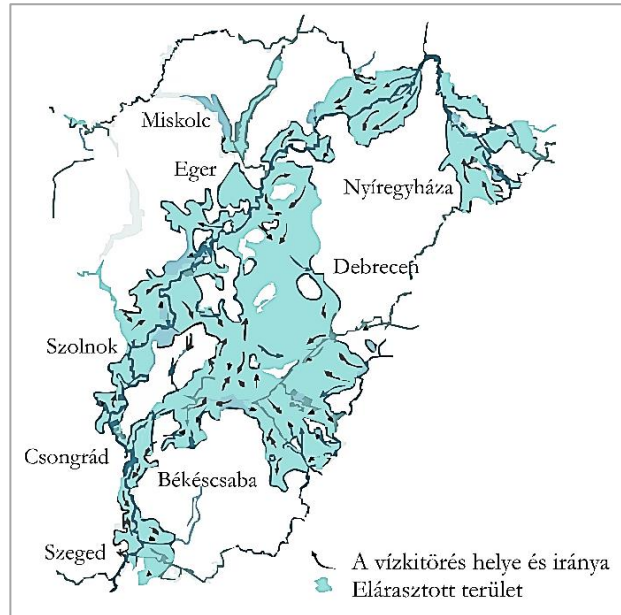
A MAR rendszerek tervezése esetén fontos szempont a vízpótlás céljának és az elérni kívánt hatásának egyértelmű meghatározása a kitermelni kívánt víz minősége és mennyisége szempontjából. A víz forrása lehet folyóvíz, tóvíz, felszín alatti víz, tisztított szennyvíz vagy esővíz is. Azonban minden esetben rendelkezésre kell állnia a megfelelő minőségű víznek. Például az ausztráliai Salisbury városában egy MAR projekt keretében csapadékvízből állítanak elő ivóvizet, oly módon, hogy először egy szűrőmező (wetland) kezeléssel tisztítják a csapadékvizet, mielőtt az a felszín alatti víztartó rétegbe kerülne. Innét kb. 12 hónap tartózkodási időt követően kerül kitermelésre a víz, amit aktívszén szűrőn és ultraszűrőn történő kezelést követően egy palackozó üzembe juttatnak (Dillon és társai 2009).

## SAKÁGI LEHETŐSÉGEK

### Árvízvédelem (árvízmentesítés, védekezés)

A vízügyi igazgatóságok kezelésében 110 árvízvédelmi szakasz van, melyet 4157 km árvízvédelmi töltés véd. Ennek legnagyobb részét a Tisza-völgy árvízvédelmi rendszere képezi, mintegy 2750 km-es hosszúsággal. Tehtényes kiterjedése miatt a Tisza-völgy árvízvédelmi rendszere alkalmas példaként a TRVG és a körkörös szemlélet kapcsolatának bemutatásához. A hazai árvízvédelemben nagyobb szerepet játszik a katasztrófahelyzetek kezelése, mint a megelőzést szolgáló fejlesztések támogatása (OVF 2017). A megelőzés felé egy lépés volt a Vásárhelyi Terv Továbbfejlesztése (VTT), melyben, válaszul a 2000-es évek elején levonuló, sorra új legnagyobb vízszintet beállító árhullámokra, 12 tározó megépítését tervezték. Ebben az időben vált nyilvánvalóvá, hogy az árvízvédelem hagyományos eszközei kimerültek. A tározással az extrém árhullámok tetőző vízszintjeit hozzávetőleg 1 méterrel csökkentenék. A tározóterekben előirányozott volt a tájhasználat váltás is, mely nem történt meg. Az elképzelések szerint a vízkivezetés rendkívül ritkán, 25-30 évente egyszer lesz csak szükséges (Koncsos 2011). Az első ütemben tervezett 6 db tározó már megépült, ezek a Szamos-Krasznaközi tározó, a Beregi tározó, a Cigánd-Tiszakarádi tározó, a Nagykunsági tározó, a Hanyi-Tiszasülyi tározó és a Nagykunsági tározó. A második ütemben várhatóan meg fog valósulni a Tisza-Túr közti tározó (a kivitelezés 2020. februárban elkezdődött, átadás 2022 elején), az Inérháti tározó, a Hanyi-Jászsági tározó és a Szegei tározó. Mivel a tározókat csak rendkívül nagy árvizek idején, árvízcsúcs csökkentési céllal nyitják meg, az árvízvédelem gyakorlatilag a hagyományos szemlélet mentén

folytatódik. Ennek célja a víztöbblet mihamarabb történő elvezetése a folyó hullámterén belül. Hogy ezt a szemléletet értékelni lehessen, tekintjük a Tisza-völgy folyószabályozásokat megelőző működését a 3. ábrán.



3. ábra. Árvízi lefolyás a Tiszán a folyószabályozások előtt (Forrás: Koncsos 2011)

Figure 3. Waterlogged area before the regulation of Tisza River (Source: Koncsos 2011)

A korabeli jelentős vízborítások nedvesebb és hűvösebb éghajlat mellett alakultak ki (Koncsos 2011). Azonban ennek kialakulásához történelmi okok is szükségesek voltak, mégpedig a Török Hódoltság. *Andrásfalvy (1973)* és *Molnár (1991-1994)* rámutatnak, hogy korábban a nagyobb folyóink mentén fokgazdálkodás történt, azaz az áradás szabályozott módon, ismert természetes vagy mesterséges nyomvonalak mentét öntötte el a tájat. Ez a rendszer ment tönkre, melynek egyenesági következménye volt az Alföld elmocsarasodása (*Andrásfalvy 1973, Molnár 1991 - 1994*). Az idők során az a tudás is elveszhetett, ami ennek a rendszernek a helyreállítását lehetővé tehetné volna. II. József „a kalapos király” az Istitutum Geometricum (a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem elődje) 1782. évi alapítólevelében kihangsúlyozza: „igen nagy szükség van a földmérő, vízépítő és mechanikai tudományokra, de különösen a Magyar Királyságban és csatolt tartományaiiban [...] ahol az előző évszázad annyi háborúja és viszontagságai után a birtokviszonyok igen zavarosak, igen nagy vidékek víz alatt, vagy mocsarakká alakulva hevernek, a malomgátak rosszul vannak építve, a közutak elhanyagoltak, [...] nyilvánvaló ezen tudományok oktatásának szükségessége” (Koncsos 2011). Eltekintve attól, hogy már az ártéri gazdálkodás végett emberi beavatkozások történtek a Tisza-völgyében, természetközeli állapotnak tételezzük fel a „pocsolyatérképről” ismert állapotot. Az Alföld jelentős része vízborítás alá került árvizek idején, a kis esés és az Alföldre jellemző mikrodomborzat pedig késleltette a víz lefolyását. Ekkor nagy területen történhetett meg a párolgás és a felszín alatti vízpótlás. A folyó vízjárását kiegyenlíthette a lassan visszahúzódó víztömeg. Ismerve ezt a fajta táji működést és az árvízmentesítés mai gyakorlatát, látható, hogy

az nem illeszkedik a körkörösségbe, a vizek újrahasznosítása, megtartása nélkül engedjük elfolyni az országból az áradás adta víztöbbletet. Következzen néhány hazai példa az árvíz hasznosításának lehetőségeire.

#### *Élőhely rekonstrukció a Körös-völgyi erdőkben*

A Fekete- és Fehér-Körös völgyében, az eredetileg szabályozatlan folyóvölgyben a szabályozási munkálatokat követően az értékes erdőtársulások a mentett oldalra kerültek. Mára a már lecsapolt mocsarak és laposok területén is állnak erdők. Az éghajlati adottságok a XX. század végén az erdő-sztyepp klímára utaltak, melyben az erdőszet számára szűk keresztmetszetet az 550 mm-es éves csapadék-összeg jelentette. A 1980-as években egy igen száraz periódus következett, mely nagy rovar szaporulattal párosult. Ennek következtében az erdők egészségi állapota leromlott, felül kellett vizsgálni a többszáz éves tájhasználati gyakorlatot. A Békés melletti erdőkben ökológiai célú vízpótló rendszer megvalósítása mellett döntöttek. A Gyula környéki erdőkben több szakma bevonásával végezték a tervezést. A tervezési prioritások között szerepelt az új szerkezetek létesítésének minimalizálása, a meglévő adottságok – régi medrek, csatornák, laposok – kihasználása, a tájba illeszkedés és harmónia a vidék más vízrendezési terveivel. A Sitkai-csatorna csappantyús zsilipén és a Bártkás csatorna vízbetáplálásán keresztül a terület vízpótlását az 1998. évi tapasztalatok alapján egy évben 180 napon át lehetséges megoldani, kisebb-nagyobb szünetekkel. A magassági viszonyok miatt egyéb vízbetáplálás csak a meglévő védműveken keresztül, szivattyúzással történhet. A területen eredetileg belvíz elvezetést szolgáló rendszert sikerült oly módon átalakítani, hogy az a víz megtartására és szétosztására használhatóvá váljon. A munkálatoknál szempont volt a fakitermelés elkerülése is. A beavatkozás rövidtávú eredménye, hogy azokon a területeken, melyet a megelőző 150 évben csak árvízi katasztrófa idején öntött el a víz, most időszakos vízfolyások hálózatként be 38,8 km hosszban, mely a mértékadó vízszint mellett mintegy 15,7 ha szabad vízfelületet jelent. Megjelentek a vízparti növénytársulások és a vízi élőhelyekhez kötődő madárfajok is, mint például a jégmadár, az erdei cankó, a nagyköcsög, a szürke gém, a fekete gólya és a halászsas (Puskás 2000). Fontos megjegyezni a projekt kapcsán, hogy az az 1990-es években valósult meg, tehát még jóval Magyarország 2004-es EU csatlakozása előtt, amikor is az NWRM még kevésbé volt a köztudatban. Mint arra Puskás (2000) is felhívja a figyelmet, fontos, hogy a beavatkozás kiértékelhető legyen, ezért ökológiai, erdőszeti, faterméstani kutatásokra lenne szükség, azonban ehhez kapcsolódó dokumentációk jelenleg nem állnak rendelkezésre.

#### *Bodrog – Teret a víznek*

A projekt során Szlovákia, Ukrajna és Magyarország működött együtt. A Bodrogon és a Latorcán kerültek végrehajtásra beavatkozások. A hazai mintaterület a Tokaj-Bodrogzug Tájvédelmi Körzet. A Vissi-holtág vízellátásának problémáját oldották meg a bevezető műtárgy rekonstrukciójával és új leeresztő műtárgy létesítésével. A leeresztő műtárgy segítségével az árhullám levonulását követően hozzávetőleg egy méteres vízmélységet tudnak tartani a holtágban, így hozzájárulva a holtág flórájának és faunájának fennmaradásához a szárazabb időszakokban. A

projekt hozzájárul az árvízi kockázat csökkentéséhez és javítja a vízháztartási mérleget (Minarik és társai 2011). Sajnos ezen projektnél sem található meg annak a későbbi dokumentálása, hogy hogyan hatott a beavatkozás az ökoszisztéma szolgáltatásokra. Arra viszont rávilágít ez a projekt, hogy a „Teret a folyónak” szlogent az NWRM dokumentumaiban foglaltaknak megfelelően kell értelmezni, azaz általánosságban a hullámtér megnövelését, esetleg a természetes ártér visszaállítását, vagy régen vízjárta területek újra visszakapcsolását jelenti. Nem szabad a fogalmat összekeverni a nagyvízi meder árvízlevezető kapacitásának növelésével, vagy a hidraulikai levezető sávok kialakításával, hiszen az mellőzi az ökológiai összefüggéseket és az NWRM jó gyakorlatait.

#### *Az Ős-Dráva projekt*

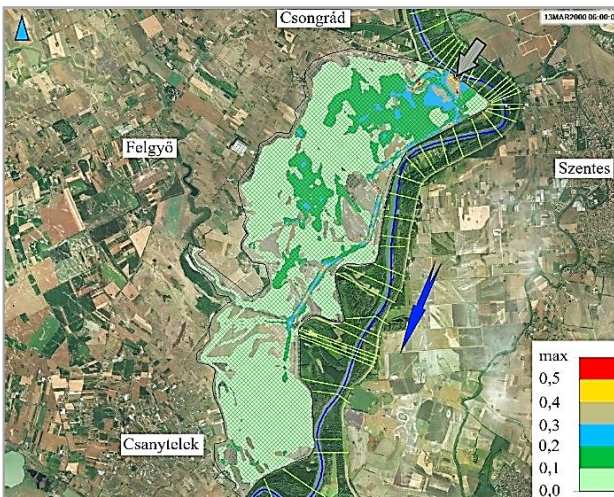
Ez a projekt nem található jelenleg az NWRM dokumentumai között, azonban tartalmazza az NWRM elemeit. A Dráva magyarországi szakasza ugyan természetes állapotúnak tűnik, azonban a felvízi országokban összesen 22 db vízerőmű épült, melynek következtében az alsóbb szakaszokon a folyó egyre jobban beágyazódik, így fokozatosan megszakad a kapcsolata a mellékágakkal, illetve a távolabbi holtmedrekkel. A 2012-ben indult kormányzati programban a Dráva egykori medreinek újjáélesztésével kívánják a tájrehabilitációt végrehajtani. A vízpótló rendszer a Korcsina – Köröcsönye – Fekete-víz gravitációs csatornarendszer kihasználására épül, amely a Drávától mintegy 5-10 km-re fekszik (Lóczy és társai 2018). A Cún-Szaporca holtág mintaterületen végzett kutatások szerint a vízpótlás révén a talajvíz szintje, mely a területen jelentősen süllyedt, a vizsgált forgatókönyv függvényében 28 – 77 cm-rel is emelhető (Salem és társai 2018).

#### *Természetközeli árvízvédelmi megoldás a Tisza-völgyben*

A Tisza-völgy adottságai lehetővé teszik, hogy a korábban vízjárta, mélyártéri területeken vízvisszatartást eszközöljünk. A VTT tározók is javarészt ezekben a mélyületekben helyezkednek el, de az árvízcsúcs csökkentés érdekében nagy műtárgyakra és a kellő tározókapacitás biztosításához relatíve magas töltésekre van szükség. A víz kieresztése azonban megtörténhet természetbarát módon is, a „mélyártéri üzemrenddel” (Murányi 2019). Ebbe bevonhatók a már meglévő és esetlegesen megépülő VTT tározók, illetve további mély fekvésű területek a Tisza mentén. Korábbi kutatások eredményei szerint ezek összesen 2,5 km<sup>3</sup> tározókapacitást jelentenek a Tisza-völgyben (Derts és Koncsos 2012). Összehasonlításként, hazánk legnagyobb tavának, a Balatonnak a térfogata kb. 1,9 km<sup>3</sup>. Fontos leszögezni, hogy mélyártéri szemléletnek nem célja sem az árvízvédelmi töltések elbontása, sem a történelmi elöntések visszaállítása. A rendszer kialakításához azonban nélkülözhetetlen a tájhasználat váltás az érintett területeken. Minthogy a XIX. századi folyószabályozási munkák célja a szántónak használható földterületek megszerzése volt, úgy a XXI. században a klímaadaptáció, a vízmegtartás és körkörös rendszerben történő hasznosítás kell, hogy a folyamatok hajtóereje legyen. Tehát az árvízi biztonság megteremtése nem a cél, hanem az eszköz. A mélyártéri tározás úgy járul hozzá az árvíz kockázatának csökkentéséhez, hogy közben számos más hasznot is hoz.

A módszer lényege, hogy víz kivezetése már az árhullám emelkedő szakaszában, a középvízi mederből való kilépéssel egyidőben megkezdődne, a tározótér feltöltése fokozatosan történne meg, kisebb műtárgyméret mellett, a tározóteret pedig a természetes terepalakulatok (magaspart) jelölik ki, csak ott kell töltéscélpítéssel a területet határolni, ahol ez a magaspart jelleg nem biztosított (Gábris és társai 2004). Ahhoz, hogy a konfliktushelyzeteket csökkentjük, alkalmazkodni kell a már meglévő közlekedési infrastruktúra nyomvonalaihoz, illetve tekintettel kell lenni a településekre és nagyobb gazdasági létesítményekre is. Ezeket szükség esetén körtöltéssel ki lehet zárni a mélyártér előntésre szánt területéből. Az előntés szintjét pedig úgy kell meghatározni, hogy az az ártéri gazdálkodás növényársulásait ne érintse kedvezőtlenül, vagyis az átlagos előntés legfeljebb 1,5-2 méter legyen.

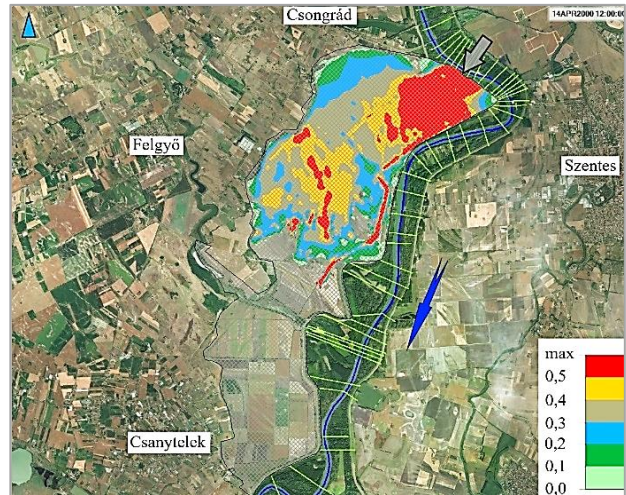
Egy Csongrádtól délre eső mintaterületen, a Tisza bal partján lévő mélyártéri területen a koncepció hidrodinamikai modellezéssel vizsgálatra került. A kapcsolt 1D-2D HEC-RAS modell kalibrációja és validációja történelmi árhullámok segítségével történt. A beeresztő műtárgy küszöbszintje 78 m B.f. szinten helyezkedett el minden vizsgált esetben. A tározó kapacitása 81 m B.f. szint mellett 52 millió m<sup>3</sup>, 82 m B.f. szint mellett pedig 63 millió m<sup>3</sup>. Először a 81 m B.f. üzemi vízszint került vizsgálatra. Egy 20 méteres összes szabad nyílású műtárgy esetén is a kívánt víztérfogatot az árhullám felszálló ágában ki lehet eresztetni, ekkor az előntési idő kb. 10,5 nap, a kialakuló vízmélység átlagosan 2 méter. A 4. ábrán látható, hogy az előntés során sebességek jellemzően 0,2 m/s alatt maradnak, kivéve a beeresztő műtárgynál (szürke nyíllal jelölve) ahol 0,7-0,9 m/s is kialakulhat, illetve a csatornáknál, ahol 0,2-0,6 m/s közötti értékek fordulnak elő.



4. ábra. Sebességek a csongrádi mélyártéren, mélyártéri üzemmóddal mellett ( $v$ , [m/s]) (Saját munka)

Figure 4. Velocity field in the deep floodplain near Csongrád, in case of 'deep floodplain storage method' ( $v$ , [m/s]) (Own work)

A kiválasztott pillanatkép a legnagyobb sebességeket mutatja, a tározó vízszintjének emelkedésével a sebesség lecsökken. Az 5. ábrán szemléltetett előntés egy összesen 50 m szabad nyílású műtárgy szimulációját mutatja egy kiragadott időpillanatban, mely jól jellemzi az előntés sajátosságait.



5. ábra. Sebességek a csongrádi mélyártéren, árvízcsúcs csökkentő üzemmóddal mellett ( $v$ , [m/s]) (Saját munka)

Figure 5. Velocity field in the deep floodplain near Csongrád, in case of 'flood peak reduction method' ( $v$ , [m/s]) (Own work)

Ekkor árvízcsúcs csökkentés történt. A védvonal töltéskorona szintje 86 m B.f., a zsilipek nyitása a Tisza beeresztő műtárgy feletti szelvényében mért 85 m B.f. vízszintnél történt meg. Látható az árasztás front szerű jellege. A beeresztő műtárgynál a sebesség elérheti akár a 3 m/s értéket is, de a tározótérben is inkább a 0,2 m/s feletti sebesség érvényesül. A tározótér feltöltés ebben az esetben csak 8 órát igényel a 81 m B.f. szintig. Mivel a mélyártéri üzemmódban a tározó feltöltése az árhullám tetőzésétől időben távol történt meg, arra nem gyakorolt hatást, csak a felszálló ág vízszintjét tudta mérsékelni. További vizsgálatra érdemes a teljes Tisza-völgy mélyártéri rendszere, az üzemmóddal optimalizálásával. Ugyan egy mélyártéri tározó nem lehet olyan hatékony, mint egy VTT tározó, egy egész mélyártéri tározólánc megfelelő üzemeltetés mellett már összemérhető eredményeket mutathat (Koncsos 2006).

Csak tározókra alapozni azonban továbbra sem lehet az árvíz elleni védekezést. Szükséges volna tehát egy új árvízvédelmi rendszer biztonsági filozófiaijának kidolgozása, melyben érvényesül a „legolcsóbban biztonságot vásárolni a kockázat csökkentésével és élhető világot teremteni a természeti adottságokhoz szabott mérnöki beavatkozásokkal” elv (Koncsos 2011).

Ennek az új filozófiának lehetne az egyik eleme a mélyártéri „szelíd” elárasztás is. Az árvíz kockázatának csökkentése mellett a tározóterületen beszivárgás és párolgás is történik. Vagyis a rendszer megfelel a körkörösség elvárásának és egyben a természetre alapozott vízvisszatartásnak is.

További lehetőség a mélyártéri területről a víz átvezetése és további hasznosítása. A csongrádi mintaterületől nyugati irányban található a Csongrádi Kónya-szék Természetvédelmi Terület, mely vízháztartási problémákkal küzd (Margóczy és társai 2016). A területen található Vidre-ér völgyének domborzati adottságait figyelembe véve a természetvédelmi terület vízpótlása gravitációs úton megoldható, a csongrádi tározó 82 m B.f. töltési szintje esetén (Murányi 2019).

Az előbb bemutatott hazai példák is rámutatnak, hogy a mélyártereken történő vízmegőrzés többcélú hasznosítást tesz lehetővé. A vízkivezetéssel „adunk teret a folyónak”, így csökkenthető az árvízi kockázat. A tározással a beszivárgás mértékét is lehet növelni, így a süllyedő talajvízszintek ellenében adhatunk válaszlépést. Mint célzott intézkedés, ez nem csak NWRM, hanem MAR megoldás is egyben. Mint a csongrádi mélyártéri mintaterületen is bemutatásra került (*Murányi 2019*), a vízpótlás nem csak magában a tározóterben, hanem attól néhány kilométeres távolságban is megvalósítható, amennyiben a belvízelvezető csatornákat a víz szétosztására alkalmassá teszik. Így a Csongrádi Kónya-szék Természetvédelmi Terület, melyen egy kiszáradó szikes tó található, vízpótlása megoldható. A fenti projektek tanulságát levonva, célszerű a teljes hazai Tisza szakaszon a mélyártéri tározás megvalósíthatóságát kutatni. Meg kell vizsgálni a tározók talajvízszintekre gyakorolt hatását, illetve a vizek távolabbra történő kivezetésével a táj vízpótlását. Viszont a vizsgálatokat és a tervezést nagyon körültekintően kell végrehajtani, és érdemes több szakembert is bevonni. A tározóterekben a tájhasználatváltás elkerülhetetlen. Ha szikes területeken hajtunk végre vízpótlást, meg kell bizonyosodni annak ökológiai hasznosságáról, és lehetőség szerint olyan módszert kell kidolgozni, mely az eredeti szikes tavak feltöltődését tudja rekonstruálni. További kérdéseket vehet fel a tározásra kerülő víz idő előrehaladásával változó minősége is, illetve az, hogy ez milyen hatást fejthet ki a felszín alatti vízkészletek minőségére. Célszerű az árvízvédelmi rendszer újragondolását az NWRM és MAR eszközrendszerének együttes alkalmazásával elvégezni.

#### **Síkvidéki vízrendezés, belvízvédekezés és aszálykár-elhárítás**

A szakirodalomban több tucat definíció található a belvíz leírására, ezek között azonban nem akad egy, a közélet, a tudomány és a szakma által közösen elfogadott és alkalmazott pontos megfogalmazás. A jelenség értelmezése erősen ágazatfüggő, de szakterületeken belül sincs minden esetben konszenzus (*Kozma 2013*). *Pálfai (2004)* a belvíznek mintegy félszáz megfogalmazását ismertette a XIX. századtól napjainkig. Megállapítása szerint a definíciók kimondva vagy kimondatlanul megegyeznek abban, hogy a belvíz a sík vidékek időszakos, de meglehetősen tartós és viszonylag nagy területre kiterjedő jelensége, egy sajátos vízfajtája (*Pálfai 2004*).

Magyarország területének közel fele belvízveszélyes. A belvízrendszerek jellemző sajátossága mind a mai napig a belvízöblözetek legmélyebb részén kialakított belvízcsatorna hálózat és annak a végpontjánál, az árvízvédelmi töltéshez való csatlakozásnál létesített szivattyútelepek, melyek segítségével a vízrajzi szempontból zárt öblözetből emelik át a vizeket (*OVF 2017*). A rendszer méretei lenyűgözőek, a 42 400 km-nyi csatorna 85 db belvízöblözetből, összesen 43 600 km<sup>2</sup>-es területről szállítja el a vizeket, az összegzett szivattyútelepi kapacitás pedig 970 m<sup>3</sup>/s-ot tesz ki (*Kozma 2013*). Összehasonlításként, a csatornák hossza meghaladja Föld egyenlítőjének kb. 40 075 km-es hosszát, a szivattyúkapacitás pedig a Tisza átlagos vízhozamát Szegednél, azaz a 820 m<sup>3</sup>/s-ot. A 2010-es év extrém volt belvízvédekezési szempontból, nem az elöntött területek

nagyságát, hanem a védekezés folyamatosságát és az áttemelt vízmennyiséget tekintve. A 2010-es évben a befogadókba összesen 2,8 milliárd m<sup>3</sup> belvíz került áttemelésre (*Szlávik 2018*).

A belvizek kialakulását a meteorológiai viszonyok (csapadék, léghőmérséklet), és a vízgyűjtőterület jellemzőinek (talaj, területhasználat, domborzati viszonyok, vízrendezés, talajvízviszonyok, vízgyűjtőterület nagysága és alakja) kölcsönhatása befolyásolja (*Szlávik 2018*).

*Kozma és társai (2013)* rámutattak, hogy a síkvidéki vízgyűjtők belvíz jelenségére hiszterézis jellegű kapcsolat, belvízi tározási hurokgörbe mutatható ki. A nemlineáris összefüggés jellemzi az elöntés és a tározás közti kapcsolatot, vagyis az adott térfogathoz tartozó vízborítás annak a függvénye, hogy elöntési vagy apadási szakasról van-e szó. A Szamos-Kraszna mintaterületre végzett vízmérleg elemzés szerint a belvíz mesterséges elvezetése (gravitációs csatornák és szivattyúzás) és a természetes folyamatok (párolgás és beszivárgás) hatásainak viszonya 1:4 arányú. A belvízvédekezésnek inkább a tartósságra, mintsem a belvíz területi kiterjedésére van hatása. (*Kozma és társai 2013*).

A jelenlegi rendszert a kényszerüzemeltetés jellemzi, melyből következően egycélú és rugalmatlan. Az Alföldön történtek próbálkozások ún. kettős működtetésre, azaz belvíz és öntözővíz szállítására egyaránt alkalmas rendszerek kialakítására, azonban ezek elsősorban üzemeltetési okok miatt ellehetetlenültek. A természetvédelmi szempontok, a klímaadaptáció, a gazdaságosság és a vízkészlet-gazdálkodás követelményeit az elvezetéscentrikus kialakítás és a rugalmatlan üzemeltetés végett nem tudja kielégíteni (*OVF 2017*). Mivel a belvíz nem tud hasznosulni, lineáris szemlélet szerint elvezetésre kerül, a jelenlegi működés nem illeszkedik a körkörös integrált rendszerébe.

Szemléletváltás, új koncepció kidolgozása szükséges. A belvízes területeken lehetőség volna zónarendszer bevezetésére, mely az elöntések gyakorisága és kiterjedése szerint elősegítené a jobban igazodó művelési formák elterjedését, esetlegesen a tájhasználat váltást. A belvízes területek jelentős részén a torz támogatási rendszer miatt folyik csak intenzív mezőgazdálkodás, az agrárökológiai adottságok mérlegelése alapján ezen területek művelésből való kivonása megfontolandó (*Somlyódy 2011*). Ha a helyes vízgazdálkodással a tájban helyet adunk a víznek, elfogadjuk, hogy vannak olyan területek, amik belvízi elöntés alá kerülnek és azok kivonásra kerülnek a művelésből, vagy olyan tájhasználat (területhasználat) jelenik meg, amely ezeket a területeket hasznosítani tudja (pl. kaszáló, legelő), a belvíz kockázata – károkozás hiányban – megszűnik, ezzel elmúlik az elvezetés kényszere is.

Fontos megjegyezni, hogy az aszályok kialakulásában az aktív belvízvédekezés kedvezőtlen hatótényező (*Pálfai 2004, Nováky és társai 2011, Kozma, 2013*). Az aszálykár-elhárítás a mezőgazdasági termelésben a víz hiánya miatt bekövetkező kár ellen irányuló összetett tevékenység (*OVF 2017*). A globális felmelegedés egyre nagyobb kihívás elé állítja a hazai vízgazdálkodást, az aszály és a vízhiány kockázatának a növekedése várható. Itt a TRVG két szakágát összevontan kell szemlélnünk.



Az aszály kezeléséhez a belvíz készletek megőrzése lehet a kulcs. Ismét az NWRM és a MAR eszköztárából hívható segítségül. Tekintsünk hazai és külföldi alkalmazási példákat.

#### *Komplex vízviszatarítási program a Nagyszéksós-tó (Mórahalom) vízrendszerében*

A Mórahalom mellett található Nagyszéksós-tó mind természetvédelmi, mind vízgazdálkodási szempontból jelentős a Duna-Tisza közti Homokhátság keleti lejtőjén. Morfológiai adottságaiból fakadóan a terület 1,2 millió m<sup>3</sup> belvíz tározására alkalmas. A folyószabályozások és a lecsapolások előtti időben állandó vízü források hiányában a laposokat, semlyékeket a felemelkedő talajvíz töltötte meg. Az ilyen jellegű szikes tavak jellemzője az időszakosság, azaz a téli, tavaszi nedvesebb időszakban feltöltődtek, míg a nyár során vizük nagy része, vagy egésze elpárolgott. A területen a legjelentősebb változást a Széksós-tói-főcsatorna megépítése jelentette, mely lecsapolta a víznyós területeket. Az alapszatorna medre keresztülvágja mind a Kis- mind a Nagyszéksós-tavat. 1968-ban már jelentős kiterjedésű nádas van a területen, így érdemes volt nádgazdálkodást folytatni. A 70-es évek csapadékos időszakában magas talajvízszintet biztosított, így áttértek a halgazdálkodásra, mely a 80-as évekig folyt. 1989-től megindul a kiszáradás. A nádas egyre nagyobb teret nyer, alig marad szabad vízfelület. A vízpótlásra mederkostrást végeztek, illetve kialakítottak egy ún. wetland-et, mely a mórahalmi tisztított szennyvizet fogadja, és juttatja tovább a tó irányába. A vízügyi beavatkozásokon túlmutatóan a tó adja a helyszínét egy bivaly-rehabilitációs projektnek is. A vízi bivalyok segítségével próbálják a tó mintegy 80 ha-on eutrofizálódott vízterületén a torfitást csökkenteni. Az elmúlt években a projektnek köszönhetően nőtt a szabad vízfelületek aránya. Az invazív növényzetet sikerült visszaszorítani és újra megjelent az őshonos tündérrózsa (Fekete és társai 2010, Nyilas és társai 2012). Fontos megemlíteni, hogy bár elismerésre méltók az elért eredmények, ugyanakkor a szikes tó kiédesülésével és az édesvízzel történő vízpótlással az eredeti szikes jelleg nem állítható vissza. Tehát ebben a projektben megtörténik a természet alapú vízmegtartás (NWRM), azonban a felszín alatti vízutánpótlás – mivel célként nem jelent meg – járulékos hatásként teljesül csak.

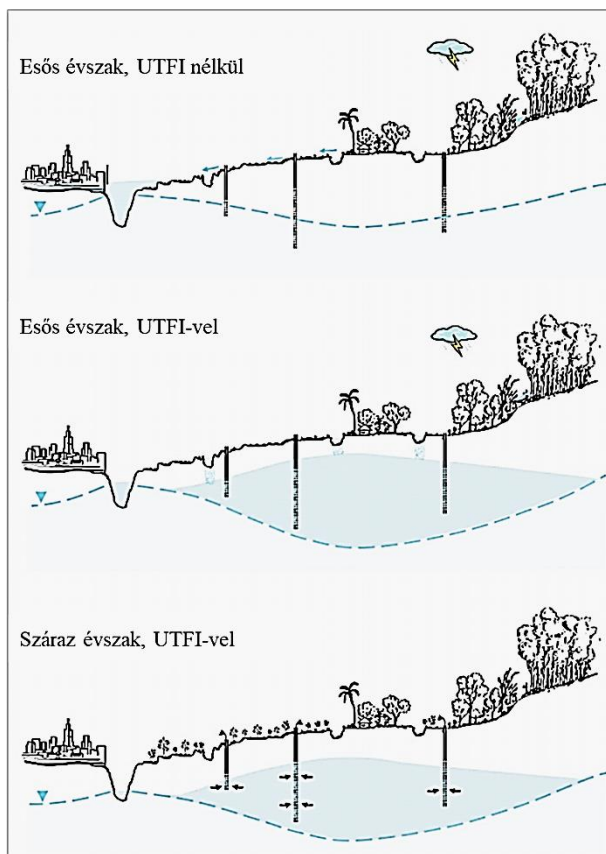
#### *Vízmegtartás a Homokhátságon*

A Dongér-Kelőér Vize Egyesület a helyi gazdák és Szank, Móricgát, valamint Jászszenzlászló községek önkormányzatainak összefogásával dolgozik azon, hogy a táji vízutánpótlás megtörténjen. A Dong-éri főcsatorna Kiskunhalastól indul és Mindszent városánál torkollik a Tiszába. A főcsatorna hossza 84 km, a belvízrendszer területe kb. 2127 km<sup>2</sup>. A kevés téli csapadék május végére, júniusra eltűnik a rendszerből, a csatornák kiszáradnak, a térség 24 víztározója közül már csak négyben van víz. A talajvíz helyenként 5-9 méter mélyre süllyedt. A mezőgazdasági területeken a megfelelő termés hozam rendszerint elmarad. Ezért az egyesület a belvízcsatornák ideiglenes elzárásával, a meglévő természetes vagy mesterséges tározók feltöltésével és időszakos vízborítások (árasztás) létrehozásával igyekszik a talajvízszintet emelni, azaz megvalósítani a MAR-t. A szántóföldek nem kerülnek elárasztásra, csak a szomszédos kaszáló területen alakítanak ki

néhány centiméteres vízborítást. A vízmegtartás hatását zöldtömeg méréssel ellenőrzik. Az egy négyzetméterről lekaszált fű a száraz területen 0,2 kg/m<sup>2</sup>, míg a korábban 3 hétre elárasztott területen 1,6 kg/m<sup>2</sup>, vagyis az előbbi nyolcszorosa. Az egyesület munkája nyomán 2018-ban sikeresen feltöltötték a Szank és Jászszenzlászló határán fekvő Banó-tavat is, a vízjogi engedélynek megfelelően 400 000 m<sup>3</sup> vízzel, mely javította a környezeti mikroklímáját és új vizes élőhelyet teremtett. Az egyesület a jövőben igyekszik újabb területeket kialakítani a természetes vagy természetközeli vízmegtartó megoldásokat, hogy ezzel is növeljék a biodiverzitást és javítsák a gazdálkodás eredményességét (Toldi 2021). Ezzel munkájuk mind az NWRM, mind a MAR eszköztárából alkalmazza, megvalósul a körkörös szemlélet is.

#### *UTFI a Gangesz-medencében*

Az UTFI – Underground Transfer of Floods for Irrigation, vagyis az „árvizek felszín alatti tározása öntözési célokra” egy MAR eljárás. Az elnevezés, vagy a fordítása kevésbé szerencsés, ugyanis itt nem csak az árvizek, hanem a vízgyűjtő felszíni lefolyásainak gyűjtése és felszín alatti tározása is lehetséges, mint az a 6. ábrán is látható.



6. ábra. Árvízzel veszélyeztetett táj sematikus rajza UTFI-vel és anélkül nedves és száraz időszakban (Forrás: Alam és Pavelic 2020)

Figure 6. Schematic representations of a flood-prone landscape with and without UTFI (Source: Alam and Pavelic 2020)

A módszer lényege, hogy a vízgyűjtő szintű beavatkozás lehetővé teszi, hogy a völgy aljában a víztöbblet okozta lefolyás kártételét megelőzzék azzal, hogy felszín alatti tározóba szivárogtatják azt, ezzel pedig stratégiai víztartalékokat képeznek a száraz időszakokra (Alam és Pavelic 2020).

Az eljárást Indiában, a Gangesz egy felső vízgyűjtőjén, a Ramganga-medencében található Jiwai Jadid település közelében tesztelték. A projektben egy 75x35 méteres közösségi tavat rehabilitáltak UTFI célra. A célzott vízpótlás a 60-90 m közti felszín alatti zónára összpontosít, a környék talajvízkitermelése az itt található vízáadó rétegből történik. Összesen 10 db 25-30 méter mélységű vízpótló kutat alakítottak ki. Az esős évszakban a Ramganga-folyó egy mellékágából kerülhet a víz az UTFI medencébe. Az utánpótlódás 2016 és 2018 közötti három esős évszakban 26 000 m<sup>3</sup> – 62 000 m<sup>3</sup> között változott. A felszín alatti víz minősége nem változott számottevően a projekt előtti állapothoz képest (*Pavelic és társai 2021*). Ugyan a mintaterület távol esik hazánktól, *Alam és Pavelic (2020)* által előállított globális alkalmassági térképről leolvasható, hogy a módszer alkalmazására a Duna vízgyűjtőjén az Alföldön volna lehetőség. A módszer megfelelő lehet mélyárterek esetén is, de alkalmas lehet a visszatartott belvizekből történő hatékonyabb felszín alatti vízpótlásra is. Mivel a rendszer kutak létesítését igényli, fontos fenntartani azok vízelnyelő képességét, az eltömedékelődést, feliszapolódást meg kell akadályozni, a szikkasztó medencéket rendszeresen karban kell tartani.

### Dombvidéki vízrendezés

Magyarország területének kb. 55%-a dombvidék. Ezen a területeken jelentős károkat tudnak okozni az egyre növekvő lefolyásból keletkező villámárvizek. A lefolyás csillapításának legjobb módja a tározás (*OVF 2017*). A lefolyás csökkentésével növelhető a beszivárgás, ezzel a felszín alatti vízutánpótlás megvalósítható, ezzel pedig az NWRM és MAR eszköztár alkalmazásához juthatunk el. Hazánkban a LIFE-MICACC<sup>3</sup> projekt keretében 5 település került kiválasztásra, ahol az NWRM jó gyakorlatai szerinti megoldások kerültek alkalmazásra. A projekt általános célja az önkormányzatok integráló és koordináló szerepének megerősítése az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás érdekében. Ehhez pedig fenntartható ökoszisztéma-alapú vízgazdálkodási módszereket, természetes vízmegtartó megoldásokat alkalmaztak (*Hercig és Szatzker 2021*). A projekt során készített adaptációs útmutató szerint a dombvidéki vízrendezésben a következő lehetőségek adóttak.

- Felső vízgyűjtő rendezése: a vízgyűjtő azon hegyoldalon, domboldalon, ahol szántóföldi művelés zajlik, a talaj vízmegtartó és lefolyáslassító képessége mérsékelte, az erózió pedig talaj és vele tápanyag (műtárgya) kimosást okoz. Itt célszerű erdősítést végrehajtani, lehetőleg őshonos fajokkal. Ezzel csökkenthető az erózió és a lefolyás mértéke.
- Örökerdő-gazdálkodás: ennek előnye a vágásos erdőgazdálkodással szemben, hogy az erdőborítás ideiglenesen sem szűnik meg tarvágással, a fák kitermelése ún. szálalással történik. Így biztosítható az erdei ökoszisztéma szolgáltatások folytonos működése.
- Szivárgó rönkgátak, rözsegátak: a helyi faanyagból kiépíthető szivárgó gátak a vízhozam szabályozását

szolgálják. A rönkök csak a nagyvízi mederben képeznek lefolyási akadályt, ezzel a hosszirányú átjárhatóság – amennyiben nem időszakos vízfolyásról beszélünk és van vízi ökoszisztéma – biztosítható. A rönkgátak viszonylag kis tározókapacitást, legfeljebb néhány ezer köbmétert tudnak biztosítani, ezért több gát építése javasolt. A meglévő infrastruktúrát nem veszélyeztethetik, illetve csak ott javasolható létesítésük, ahol a pataknak széles ártere van, ezért tervezésük különös gondot igényel.

- Művelési technikák megváltoztatása: szántóterületeken a vízvisszatartó képesség művelési ágváltás, vagy művelésből való kivonás nélkül is lehetséges. A térszint követő sávok műveléssel a domboldal sosem marad teljesen borítás nélkül a sávokban változóan ültetett növénykultúrák végett. A forgatás nélküli talajművelés (no till) lényege, hogy a talajok vízgazdálkodási jellemzőit, a jó talajminőséget úgy érik el, hogy a szántást különböző vetőgépek és vetésváltás alkalmazásával kiváltják. Azokon a szántókon, amelyek télen védtelenek maradnak az erózióval és a deflációval szemben, a takarónövényes talajvédelem jelenthet megoldást. A késő nyáron vagy ősszel vetett takarónövények a talaj elhordásának megakadályozása mellett növelik a talaj szervesanyagkészletét és nitrogéntartalmát is (*Hercig és Szatzker 2021*).

A NWRM szemléletéhez illeszkedően a hagyományosnak tekinthető műszaki megoldások is alkalmasak lehetnek, mint a lejtők sáncolása, a teraszozás vagy a hordalékfogó gátak létesítése. Ezek a talaj eróziójának csökkenését is elősegítik.

### Püspökszilágy, LIFE-MICACC

A Szilágyi-patakon egyre gyakoribbá váltak a villámárvizek, ezért Püspökszilágy védelmének érdekében a felső vízgyűjtőn 7 db rönkgátat építettek, illetve feltártak és rekonstruáltak 4 db terméskőből épült hordalékfogó gátat. A rönkgátak esetében 8-10 éves élettartammal számoltak. A faanyag előregszik, a gát meggyengül és tönkremegy az élettartam végén, ekkor újjáépítés válik szükségessé. A nemzetközi tapasztalatok szerint az újjáépítés költségeivel együtt is a természetközeli vízmegtartó megoldás költséghatékonysági szempontból kedvezőbb a hagyományos vasbeton szerkezetű vízépítési műtárgyakkal szemben (*Hercig és Szatzker 2021*).

### Folyógazdálkodás

A folyógazdálkodás, mint új szemléletű szakterület a fenntartható fejlődés eszméje mentén, a jó ökológiai állapot előtérbe helyezésével és a természeti adottságok figyelembevételével vizsgálja a folyókat, meghaladva a folyószabályozás gondolatát. Az elsődleges célja a folyóvizek természetes állapotának védelme. Az integrált megközelítésben szükséges az egyes szakági elemek – úgy, mint árvízvédelem, objektum védelem, hordalék-kezelés, holtág rehabilitáció, nagyműtárgyak – összehangolása. A folyógazdálkodás egyik feladata a hajóút biztosítása, rendszeres

<sup>3</sup>LIFE-MICACC projekt honlapja:  
<https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/hu>

felmérése, kitűzése és fenntartása. Hazánkban a nagyhajózásra alkalmas víziutak hossza összesen 1638 km, azonban a fenntartható fejlődés szempontjából csak a Duna bír stratégiai jelentőséggel (OVF 2017). A Duna, mint legnemzetközibb folyó, a transzeurópai közlekedési hálózat (TEN-T) belvízi hajózóút hálózatának gerincét képezi. A hajózóút megfelelősége és fejlesztési kérdései több évtizede szakmai viták tárgyát képezik. 2021 februárjában megjelent a Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt. (NIF) megbízásából a „magyarországi TEN-T belvízi út fejlesztés előkészítésének kiterjesztése” c. projekt Stratégiai Környezeti Vizsgálati dokumentációja. A Dunára vonatkozó víziútminőségi követelmények egyik legfontosabb eleme a 25 dm merülési mélységű, 1300-1600 t hordképességű hajók és kötélkeik számára az akadálymentes közlekedés biztosítása legalább az év 343 napján (NIF 2021). A 94%-os tartósságot (343 napot) a 17/2002. (III.7.) KöViM rendelet „a hajózásra alkalmas, illetőleg hajózásra alkalmassá tehető természetes és mesterséges felszíni vizek víziúttá nyilvánításáról” is előírja, továbbá a folyamatos, kétirányú víziút biztosítását is, melyre nincs nemzetközi kötelezettség. Ungvári és társai (2010) rámutatnak, hogy a dunai hajóútfejlesztések során a hazai viszonyok között prioritásként kell kezelni a parti szűrőű ivóvízbázisok védelmét, az ökológiai szolgáltatásokat biztosító hidromorfológiai jellemzők megőrzését és javítását, majd ezek tükrében vizsgálni a víziútban rejlő szállítási lehetőségeket. A tanulmány számos észrevételt és javaslatot tesz a hajózóút fejlesztési alternatívák, az előrejelzés és forgalomszervezés, logisztika és hajótechnikai fejlesztések témakörében. Az egyik megállapítás, hogy a gazdaságos áruszállítás fenntartható lenne kisebb merülési mélységhez igazított, annak megfelelően megválasztott hajóhossz és -szélesség arányok mellett (Ungvári és társai 2010). Ez kisebb beavatkozási igényt támasztana a folyó hidromorfológiai viszonyaiba. Ez azért fontos, mert a hajózás – tekintve gazdasági előnyét a többi szállítási formával szemben – a körkörös gazdasági szemléletbe illeszthető. Ez elsősorban gazdasági megközelítés lehet, nem a közvetlen vízkörforgáshoz kapcsolódik. Mégpedig az energia megtakarításával az „el nem használás” érvényesül. Mindazonáltal érdemes lehet rendszerszemléletben is vizsgálni a hajózóút fejlesztését a közlekedési rendszerek oldaláról is. A hajók ki- és berakodása erre alkalmas kikötőkben történik meg, az áruk szétosztásához pedig szükséges egy rugalmas szárazföldi, esetleg légi kiszolgáló rendszer. Ha a gazdaságos áruszállítás miatt növekedni fog a forgalom, az növeli a kapcsolódó közlekedési infrastruktúra forgalmát is. Az ökológiai és ökonomiai hatásokat így, ebben a tágabban értelmezett rendszerben volna célszerű mérlegelni, törekedve a körkörös gazdaságba illeszkedő legjobb lehetséges megoldás feltárására. Nozharov és Koralova-Nozharova (2020) a dunai hajózóút körforgásos gazdálkodásba illesztési lehetőségeiről a következő megállapításokat teszik. A dunai belvízi szállítás teljeskörű integrációja a körforgásos gazdálkodásba úgy valósítható meg, ha először is a különböző szállítási ágazatok közötti infokommunikációs technológiákat összehangolják. Majd a belvízi kikötők működését kell vizsgálni, hogy ott hogyan valósítható meg a körforgásos gazdaság koncepciója. Mivel a vízi járművek is elavulnak, a teljes körforgás tekintetében vizsgálni kell a ha-

jótestek, berendezések újrahasznosíthatóságát is. Törekedni kell a járművek életciklusának meghosszabbítására. Végezetül a Dunán működő hajózási társaságoknak fel kell vázolniuk a társadalmi felelősségvállalás kialakításának perspektíváit (Nozharov és Koralova - Nozharova 2020). Tehát a hajózásban rejlő lehetőségek kiaknázásához szakmák közötti – interdiszciplináris – egyeztetésre és a lehetséges fejlesztési irányok közös kijelölésére van szükség, melyben a vízmérnöki feladat csak egy szegmenst tesz ki, azonban ez is nagy felelősséget és kihívást jelent a mérnök társadalom számára, hiszen a társadalmi igények kielégítésének a jó ökológiai állapot fenntartása mellett kell megvalósulnia.

### Víz- és megújuló energia

A potenciális készlet a vízenergia hasznosítására jelentős részben a Dunában található. A teljes hazai potenciális vízenergia mennyisége kb. 4000 GWh/év (OVF 2017). A tiszta, megfizethető és biztonságos energiaellátás célként szerepel az Európai Zöld Megállapodás fenntartható jövőért szükséges szakpolitikai reformjai között. Az éghajlatvédelmi célkitűzések teljesítéséhez, a klímasemlegességhez és a körforgásos gazdaság kialakításához az ipar teljeskörű mozgósítására van szükség. Mindez a fogyasztók érdekében és velük együttműködve megvalósítandó. Ehhez a tengeri szélenergia-termelés növelése és a tagállamok közötti hatékony elosztóhálózat kiépítése elengedhetetlen (The European Green Deal 2019). A folyami vízerőművek és a szivattyús energiatározók biztosíthatnák a dekarbonizációt követően az egyéb megújuló energiaforrások mellett az energetikai rendszer rugalmasságát, ezzel hozzájárulva a körkörös, fenntartható gazdasági modell kialakításához az energiaszektorban. A HYDROPOWER-EUROPE projekt igyekszik a kutatás és fejlesztés teendőit, valamint a vízenergia-ágazat technológiai ütemtervét összehangolni az érintett szereplők bevonásával, technikai fórumok és nyilvános viták lefolytatásával. A projekt megállapításai szerint a technológiai fejlesztések mozgatórugói a következők:

- új nagy vízerőművek Európai Uniót kívül történő létesítése;
- az európai vízerőművek rehabilitációja és felújítása az üzemeltetési és fenntartási költségek csökkentéséhez;
- az energiatárolás igénye, ami lehetővé teszi a villamosenergia hálózat számára, hogy további megújuló energiaforrások is bevonásra kerüljenek;
- a környezeti hatások csökkentésének szükségessége;
- az eredetileg más célokra létesített duzzasztóművek eddig kihasználatlan vízerejének hasznosítása;
- új és innovatív vízerőművek fejlesztése, melyek az integrált vízgazdálkodásba illeszkednek (Fry és társai 2019).

Ugyanakkor mérlegelni kell a vízerőt hasznosító létesítmények esetében a környezetre gyakorolt hatásukat is. Európai természetvédelmi szervezetek közös kiadványt jelentettek meg, melyben felhívták a figyelmet arra, hogy az európai felszíni víztestek 40%-a van csak jó ökológiai állapotban, a vándorló édesvízi halfajok populációja pedig 93%-kal csökkent az 1970-es bázisévhez képest. Mivel a

vízérőhasznosítás részesedése az energiaszektorban 10%-ról várhatóan 14%-ra emelkedne a meglévő több, mint 19 ezer vízérőmű mellé tervezett újabb 5,5 ezer vízérőmű megépülésével, az energiaátmenetbe való hozzájárulásuk elhanyagolható volna. A kis vízérőművek (P<10 MW) létesítése sem megoldás, ugyanis a környezetre gyakorolt hatások aránytalanul súlyos az energiatermelésben betöltött kis szerepükhöz képest. Ezért, mivel az Európai Zöld Megállapodásban vállalt kötelezettségek tükrében elfogadhatatlanok a biodiverzitásra és a természetre káros behatások, kéri, hogy új vízérőmű létesítési projektek már ne támogasson az Európai Unió, helyette a meglévő vízérőművek rehabilitációjába és az elavult műtárgyak elbontásába investáljanak (EEB 2020).

A fent kirajzolódó ellentétek feloldása lehet a tisztított szennyvízre épülő vízenergia hasznosítás. Például a Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telepen egy Archimédész-turbina üzemel, a csiga átmérője 234 cm, a dőlésszöge ~22°, az esésmagasság pedig több, mint 3 méter. A termelt energia a befolyó szennyvíz mennyiségétől függően 45–63 kW között változik, átlagosan 53 kW, a napi szinten termel energia kb. 1,27 kWh. Ez alapján a beruházás megtérülési ideje kb. 8-10 év (Váci 2017).

A másik megújuló energiaforrás hazánkban a geotermikus energia. Ezt köszönhetjük annak, hogy a geotermikus gradiens Magyarország területén meghaladja a világátlagot. A termálvízzel történő fűtés főleg a Dél-Alföldön nagy jelentőségű, míg a turisztikai célú hasznosítás országosan jelen van. A rendelkezésre álló készletekkel történő gazdálkodás nehézkes, mert a készletek mennyiségi adatai nem állnak rendelkezésünkre. A használt termálvizek elhelyezésére különös gondot kell fordítani, mert felszíni víztestbe vezetve azok ökológiai állapotának romlását is eredményezheti, tekintettel a magas sótartalomra és a hőterhelésre. Szükség volna a felszín alatti vizekre vonatkozó mennyiségi igénybevételi határtértékek meghatározására (OVF 2017). Az óvatos becslések szerint a rendelkezésre álló hasznosítható hazai földhő mély geotermikus potenciálja 65-70 PJ/év, a sekély mélységű, hőszivattyús technológiai pedig 30-40 PJ/év körüli. A jelenleg hasznosított 6 PJ/év geotermikus energiához viszonyítva nagy stratégiai tartalékkal rendelkezünk. Mivel a hazai fűtési-hűtési célú energiafelhasználás 90%-a földgáz alapú, ennek jelentős hányada megtakarítható lenne a geotermikus energia kiaknázásával. A hordozóközeget jelentő termálvíz készletek azonban végesek, ezért csak úgy lehetséges fenntartható módon fejleszteni a geotermikus energia ki-termelését, ha a lehűlt víz visszasajtolásra kerül a víztartó rétegbe. A fenntartható geotermikus projekt létrejöttéhez három feltételnek kell teljesülnie:

- alkalmas hidrogeológiai és földtani adottságok;
- megfelelő szerkezetű és méretű (hő)piac;
- stabil és kiszámítható gazdasági és jogi környezet.

A folyamatban lévő kockázati alap jelentősen javíthatja a geotermikus szektor tőkevonzó képességét (Szanyi és társai 2021).

### Vízminőségi kárelhárítás

A felszíni és a felszín alatti vizeket érő szennyezések általában havária események következményei, azok nem

jelezhetők előre. Magyarországon átlagosan 2-3 naponta történik valamilyen vízminőséget veszélyeztető esemény (OVF 2017). A vízminőségi kárelhárítást a körkörös gazdaság felől szemlélve úgy fejleszthetjük, ha a szennyezőanyagot tudjuk integrálni valamely anyagkörforgalmi rendszerbe. Ez ásványolaj származékok, nehézfémek, kémiai vegyületek, mikroműanyagok és gyógyszermaradványok esetében nehézkes. Bár utóbbi kettő esetében intézkedési javaslat kidolgozása várható az Európai Zöld Megállapodás keretében. Nagyobb átmérőjű szennyezőanyagok esetén már a szűrés, mint technológia szóba kerülhet. Ilyen például a Dunán, Budapesten vízre bocsátott folyami hulladékszűrő hajó, ami a PET Kupa ([https://petkupa.hu/hu\\_HU/](https://petkupa.hu/hu_HU/)) csapatának szervezésében, a CLEAR RIVERS, a BME, az ING Bank és több más támogató segítségével valósult meg, teljes egészében újrahasznosított műanyagból. A Tiszán több éve megrendezésre kerülő PET Kupa során a versenyzők szemetet gyűjtenek, majd szétválogatják azt és szelektív hulladékgyűjtőkben helyezik el őket, ahonnan újra felhasználásra kerülnek. Az „I. PET Flotta” 2013-ban, 4 PET hajóval rajtolt el – ugyanis a versenyzők maguk is PET palackokból épített tutajokon hajóznak. A PET Kupa egy egyre népszerűbb civil kezdeményezés, egy verseny, egy TV műsor és egy csodás kaland. Hasonló nemzetközi kezdeményezés a „The Ocean Cleanup”, melyben az óceánok megtisztítása mellett a folyókra érkező, lebegő szennyezőanyagok szűrésére is fókuszálnak. A folyami „elfogó hajók” (<https://theoceancleanup.com/rivers/>) már több ország folyóin teljesítenek szolgálatot. Működésük a következő: az úszómű felvízi oldala és a part között egy uszadékterelőt feszítenek ki. A katamarán kialakítású hajótestben foglal helyet a szalagszűrő, az áramlás ide sodorja be az uszadékot. Innét a szalag az uszadékot egy kötött pályán mozgó elosztó kompra juttatja. A komp automatikusan osztja szét a begyűjtött uszadékot hat konténer között. Az egyenletes szétosztást szenzor rendszer biztosítja. A 6 db konténer összesen 50 m<sup>3</sup> tároló kapacitást biztosít. Miután a konténerek mindegyike megtelt, egy tolóhajó elvontatja a konténereket tartalmazó bárkát. A konténerek ürítését követően a bárkát vissza kell juttatni az elfogó hajóhoz. A hajó automatikusan küldi az értesítést a kezelőknek, ha a konténerek ürítésére vagy egyéb beavatkozásra van szükség.

### Tógazdálkodás

A tógazdálkodás a tavak vízháztartásának szabályozására, fenntartására és hasznosítására irányul. A hazánkban jellemző sekély tavak közös jellemzője a környezeti hatásokkal szembeni fokozott érzékenység. A Balaton, a Velencei-tó és a Fertő-tó nemzetgazdasági jelentőségű, fejlesztést és természeti értékeik megőrzésüket igénylő, európai jelentőségű víztestek. Nagyobb tavaink mellett kb. 80 km<sup>2</sup> összterületű, rekreációs, gazdasági és ökológiai jelentőségű állóvíz található. A Duna és a Tisza völgyében pedig 236 db holtág található, melyek kihasználása eddig elmaradt a bennük levő lehetőségekhez képest. Ezen holtágak állapota többnyire leromlott, beavatkozás híján rövidesen menthetetlenek lesznek. Holott, ezek hasznosítása előnyt jelenthetne nem csak a turizmus, településfejlesztés, vízgazdálkodás és természetvédelem szempontjából, hanem az agrárium (halgazdálkodás) és a mikroklímára gyakorolt hatás felől nézve is (OVF 2017). A tógazdálkodás,

vagyis a tavak, a körforgásos rendszerben lehetőséget biztosítanak a más iparágakból érkező, kellő mértékben megtisztított vizek fogadására és újrahasznosítására, továbbá részei lehetnek a korábban ismertetett szakági célok megvalósításának (áradásból vagy belvizekből származó többlet vizek befogadása).

### Térségi vízszétosztás

A ma meglévő, a területi egyenlőtlenségek ellensúlyozását célzó vízszétosztó hálózatok már nem elégítik ki az igényeket. A vízszolgáltatás biztonságát további területeken csak új elosztóhálózatok létesítésével lehet kezelni (OVF 2017). A körkörös modellben működő, új vízgazdálkodási rendszerben fontos szerep jut a vízszétosztó hálózatoknak. A rendelkezésre álló többlet vizeket ezek segítségével juttathatjuk el azok új felhasználási helyére. Az új rendszerek létesítésénél figyelembe kell venni a már meglévő hálózatokat (pl. Tisza-Körös Völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer – TIKEVIR), a hálózati elemek funkcióit azonban felül kell vizsgálni az új szemlélet szerint és olyan integrált rendszert létrehozni, mely a vízmegtartást elősegíti, a többlet vizeket eljuttatja azok újrahasznosulási helyére – tározókba, felszín alatti vízpótló létesítményekbe, tavakba, mezőgazdasági öntözőrendszerekbe.

### ÖSSZEFOGLALÁS

A Nemzeti Vízstratégiában TRVG szakági felosztását követve bemutatásra kerültek az egyes szakágak kapcsolódási lehetőségei a körkörös gazdasághoz, elsősorban az NWRM és MAR (irányított felszínalatti vízpótlás) eszköztárán keresztül. Mivel a vízgazdálkodásban paradigmaváltásra van szükség, egyes szakági elemek már összevontan jelentek meg, de továbbra is az integrált vízgazdálkodás szemléletét követve kell az új irányokat kijelölni. Az új TRVG rendszerében az egyes szakágak között a határvonalak elmosódni látszanak, a rendszereknek össze kell kapcsolódnuk és együtt is kell működniük, mint ahogyan a vízgyűjtő terület is egy egységet alkot. Felsejlik egy olyan rendszer képe, amelyben az áradások vizei tározókba kerülnek, majd onnét tovább vezetésre a folyóktól távolabb eső területek felé, végezetül pedig a célzott felszín alatti vízpótlás valósul meg. A belvíz pozitív hatásként jelentkezik, a víz visszatartásával szintén a felszín alatti készletek, illetve tározók, tavak vízpótlása történik meg. A szennyvíz – amíg van lakossági fogyasztás – szinte korlátlanul, minden évszakban rendelkezésre áll. A települések kommunális szennyvize, az ipari és mezőgazdasági eredetű szennyvizek megfelelő mértékű tisztítást követően az új vízszétosztó hálózatba kerülnek. Ez esetenként szivattyúzási igénnyel is társul, de a belvizek áttemelési igényének mérséklésével az erre a célra szánt állami költségvetés egy része a szennyvíztelepek üzemeltetésére fordítható. Így lehetne akár egy magasvezetésű tisztított szennyvíz-csatorna is a Homokhátságon. A mesterséges csatornában a vízi élőlények számára „barátosabb” turbinákkal, pl. Archimédesz-csigával vízerő hasznosítás is megvalósulhatna – természetesen a megfelelő előkészítés, költség-haszon elemzés és stratégiai környezeti vizsgálat elkészülte követően. A feltöltött felszín alatti vízkészletek aszályos időszakban táplálják a patakok, folyók vizét, így a legkisebb vízszintek emelkedése, a vízjárás kiegyenlítődése várható. Ezzel a hajózhatósági

feltételek is javulhatnak. A folyókon érkező szennyezések, nagyobb uszadékok már most is kiszűrhetők, némi munkával újrahasznosíthatók vagy ártalmatlaníthatók. Remélhetőleg a további fejlesztések és innováció hatására hamarosan a mikroszennyezők is eltávolíthatóvá válnak. A bemutatott példák rámutatnak lehetőségeink sokrétűségére. Hazánk új vízgazdálkodási és tájgazdálkodási koncepcióját közösen kell kialakítanunk, szakmák közti együttműködéssel, kompromisszumos megoldások mentén.

### IRODALOMJEGYZÉK

2000/60/EK (2000). Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve, a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról. In: *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 15/5, Brüsszel, pp. 275-346.

Alam M. F., Pavelic P. (2020). Underground Transfer of Floods for Irrigation (UTFI): Exploring Potential at the Global Scale. International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka.

Andrásfalvy B. (1973). *A Sárköz és a környező Duna menti területek ősi ártéri gazdálkodása és vízhasználatai a szabályozás előtt*. VÍZDOK - Vízügyi Dokumentációs és Tájékoztató Iroda, Budapest.

Arup, Antea Group, Ellen MacArthur Foundation (2018). Water and Circular Economy: White paper. Online: [https://nextgenwater.eu/wp-content/uploads/2018/10/Water\\_and\\_circular\\_economy-Co.Project\\_White\\_paper.pdf](https://nextgenwater.eu/wp-content/uploads/2018/10/Water_and_circular_economy-Co.Project_White_paper.pdf) (Hozzáférés dátuma: 2021.05.27.)

cbec (2017). *Natural Flood Management Toolbox*. Online: <https://catchmentbasedapproach.org/learn/natural-flood-management-toolbox-a-7-step-guide-to-developing-a-nfm-scheme/> (Hozzáférés dátuma: 2021.05.28.)

Derts Zs., Koncsos L. (2012). Flood Risk Mitigation in the Tisza Valley by Deep Floodplain Reservoirs: The Effect on the Land Use. *Journal of Environmental Science and Engineering B1*. pp. 34-40.

Dillon P., Pavelic P., Page D., Beringen H., Ward J. (2009). Managed aquifer recharge: An introduction. *Waterlines Report Series No. 13*, 76 p.

EEB (European Environmental Bureau) (2020). No more new hydropower in Europe: a Manifesto. Online: <https://mk0eeborgicuyptuf7e.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2020/10/2020-10-28-Stop-new-hydropower-in-Europe.pdf> (Hozzáférés dátuma: 2021.06.20.)

Fekete E., Kozák P., Barla E., Fiala K., Vidács L. (2010). Komplex vízvisszatartási program a Nagyszéksős-tó (Mórahalom) vízrendszerében. Alsó-Tisza Vidéki Vízügyi Igazgatóság, Szeged.

Fry J. J., Schleiss A., Corà E. (2019). HYDROPOWER EUROPE Strategic Industry Roadmap Draft Structure. Online: <https://cordis.europa.eu/project/id/826010/results> (Hozzáférés dátuma: 2021.06.20.)

Gábris G., Timár G., Somhegyi A., Nagy I. (2004). Árvízi tározás vagy ártéri gazdálkodás a Tisza mentén. II. Magyar Földrajzi Konferencia. 2004. szeptember 2-4. SZTE TTK, Szeged.

Hercig Zs., Szatker P. (2021). Az önkormányzatok integráló és koordináló szerepének megerősítése az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás érdekében” című, LIFE16

CCA/HU/000115 azonosítószámú, LIFE-MICACC projekt keretében készült ADAPTÁCIÓS ÚTMUTATÓ önkormányzatok számára. Belügyminisztérium Önkormányzati Koordinációs Iroda, Budapest.

Koncsos L. (2006). A Tisza árvízi szabályozása a Kárpát-medencében (NKFP-3/A 0039/2002 kutatás rövid összefoglalása). Magyar Természetvédők Szövetsége, Budapest.

Koncsos L. (2011). Árvízvédelem és stratégia. In: Somlyódy L. (szerk.): Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok. ISBN 978-963-508-608-5, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 207-232.

Kozma Zs. (2013). Belvízi szélsőségek kockázatalapú értékelésének és modellezési módszertanának fejlesztése. Doktori (PhD) értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék.

Kozma Zs., Muzelák B., Koncsos L. (2013). A Belvízi Jelenségek Integrált Hidrológiai Modellezése. In: Szlávik L., Kling Z., Szigeti E. (szerk.): XXXI. Országos Vándorgyűlés, Magyar Hidrológiai Társaság. Magyar Hidrológiai Társaság, Gödöllő, paper 11, 20 p.

Lane S. N. (2017). Natural flood management. In: Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 4:e1211, doi: 10.1002/wat2.1211.

Lóczy D., Dezső J., Gyenizse P. (2018). Tájrehabilitációs lehetőségek a Dráva mentén. In: Cserny T., Alpek B. (szerk.): Földtudományok és Környezet – Harmóniában, Tanulmánykötet. Magyarhoni Földtani Társulat. Pécs, pp. 85-87.

Margóczy K., Körmöczy L., Deák J.Á., Gellény K., Molnár N., Ulicsni V. (2016). A Csongrádi Kónya-szék különleges természet-megőrzési terület HUKN20029 Natura 2000 fenntartási terve. Szegedi Tudományegyetem Ökológiai Tanszék, Szeged.

Mezősi G. (2009). Magyarország természetföldrajza. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Minarik B., Cimborova A., Bartkova E., Fehér J., Gáspár J., Dobainé Friedel I., Simon E., Osiyskiy E., Vasil M. (2011). *Making Space for Water in the Bodrog River Basin, Final Report*. ICPDR IKSD.

Molnár G. (1991 – 1994). Az ártéri gazdálkodás – A Kárpát medencei gazdasági-politikai kontinuitás alapja. In: *Országépítő*, vol. 1991/2, 1991/3, 1991/4, 1992/1, 1992/3-4, 1993/3, 1993/4, 1994/1. Kós Károly Egyesülés, Budapest.

Murányi G. (2019). *Mélyártéri tározás megvalósíthatóságának vizsgálata*. MsC diplomamunka. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék.

NIF (2021). *Elkészült a Magyarországi TEN-t belvízi út fejlesztés program stratégiai környezeti vizsgálata (SKV)*. Online: [https://nif.hu/2021/02/elkeszult-a-magyarorszagiten-t-belvizi-ut-fejleszt-es-program-strategiai-kornyezeti-vizgalata-skv/?utm\\_source=newsletter&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=tentskv](https://nif.hu/2021/02/elkeszult-a-magyarorszagiten-t-belvizi-ut-fejleszt-es-program-strategiai-kornyezeti-vizgalata-skv/?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=tentskv) (Hozzáférés dátuma: 2021.05.27.)

Nika C., Vasilaki V., Expósito A., Katsou E. (2020). Water Cycle and Circular Economy: Developing a Circularity Assessment Framework for Complex Water Systems. In: *Water Research* 187(1):116423, DOI: 10.1016/j.watres.2020.116423

Nováky B. (2011). Az éghajlatváltozás és hatásai. In: *Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok*, Somlyódy L. (szerk.), ISBN 978-963-508-608-5, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 85-102.

Nováky B., Ligetvári F., Somlyódy L. (2011). Területi vízgazdálkodás. In: *Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok*, Somlyódy L. (szerk.), ISBN 978-963-508-608-5, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 233-254.

Nozharov S., Korolova - Nozharova P. (2020). Circular Economy as an Opportunity for the Development of Inland Waterway Transport (the Case of Danube River). In: *SSRN Electronic Journal*, pp. 682-689.

Nyilas T., Papp M., Bíró L., Imre M., Nagy G. (2012). A mórhalmi Nagyszéksós-tó vízkémiai vizsgálatainak elemzése. In: *Kockázat – Konfliktus – Kihívás. A VI. Magyar Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának Tanulmányai*, Nyári D. (szerk.), Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged, pp. 659-671.

OVF (2017). *NEMZETI VÍZSTRATÉGIA (Kvassay Jenő Terv)*. Országos Vízügyi Főigazgatóság, Budapest.

Pálfai I. (2004). *Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai tanulmányok*. KÖDOK Kft., Budapest.

Pavelic P., Sikka A., Alam M.F., Sharma B.R., Muthuwatta L., Eriyagama N., Villholth K.G., Shalsi S., Mishra V.K., Jha S.K., Verma C.L., Sharma N., Reddy V.R., Rout S.K., Kant L., Govindan M., Gangopadhyay P., Karthikeyan B., Chinnasamy P., Smakhtin V. (2021). Utilizing Floodwaters for Recharging Depleted Aquifers and Sustaining Irrigation Lessons from Multi-scale Assessments in the Ganges River Basin, India. doi: <https://doi.org/10.5337/2021.200> International Water Management Institute (IWMI). Colombo, Sri Lanka.

Puskás L. (2000). Élőhelyrekonstrukció a Körös-völgyi erdőben. *Crisicum*, pp. 217-224.

Salem, A., Dezső J., Lóczy D., El.Rawy M., Slowik M. (2018). Modeling Surface Water-Groundwater Interaction in an Oxbow of the Drava Floodplain. *13th International Conference on Hydroinformatics (HIC 2018)*, DOI: 10.29007/hb5d, Palermo, Italy, 1-6 July 2018.

Somlyódy L. (2011). Quo vadis hazai vízgazdálkodás? Stratégiai összegzés. In: *Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok*, Somlyódy L. (szerk.), ISBN 978-963-508-608-5, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 9-84.

Strosser P.; Delacámara G.; Hanus A.; Williams H.; Jarrit N. (2015). *Útmutató a vízmegőrzés természetre alapozott módszereinek kiválasztására, megtervezésére, megvalósításának támogatására Európában*. DOI 10.2779/426951. Az Európai Unió Kiadóhivatala, Luxemburg.

Szabó Zs., Tahy Á., Mádlné Szőnyi J. (2020). A célzott felszín alatti vízutánpótlás nemzetközi trendjei és hazai alkalmazási lehetőségei. *Hidrológiai Közlöny*, 100. évf. 4. szám., pp. 40-51.

Szanyi J., Nádor A., Madarász, T. (2021). A geotermikus energia kutatása és hasznosítása Magyarországon az elmúlt 150 év tükrében. *Földtani Közlöny*, 151/1., pp. 79-102.

Szlávik L. (2018). Belvízmentesítés, belvízvédelem. In: *Vízkérelhárítási kézikönyv*, Szlávik L. (szerk.). Országos Vízügyi Főigazgatóság, Budapest.

*The European Green Deal* (2019). A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, az Európai Tanácsnak, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának - Az európai zöld megállapodás. Európai Bizottság, Brüsszel.

Toldi Cs. (2021). *Vízmegegyezés a Homokhátságon*. Karátson Gábor Kör, Jászszentlászló.

Ungvári G., Édes B., Gerencsér Zs. (2010). *HAJÓZÓÚT FEJLESZTÉS ÉS HAJÓZÁS - Dunai hajózóút fejlesztési javaslatok vizsgálata a belvízi fuvarozás szempontjából - Ágazati költség-haszon elemzés / Waterway development and inland navigation on the Danube*. Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont (REKK), Budapesti Corvinus Egyetem és Szelídvízország, Budapest.

Váci L. (2017). Az elfolyó tisztított szennyvíz helyzeti energiájának turbinás hasznosítása, az iszapkezelés, biogáz hasznosítás valamint a mellékáramú nitrogéntávoltítás létesítményei a csepeli (BKSZT) szennyvíztisztító telepen (előadás diasor). *MaSzeSz Szennyvíz és szennyvíziszap energiataralmának jobb kihasználását lehetővé tevő eljárások szakmai nap*. Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség, Budapest.

*WG PoM* (2014). EU policy document on Natural Water Retention Measures By the drafting team of the WFD CIS Working Group Programme of Measures (WG PoM). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

## A SZERZŐ



**MURÁNYI GÁBOR** okleveles infrastruktúra-építőmérnök. MSc diplomáját 2019-ben a BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszéken szerezte. Jelenleg a Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék harmadéves doktorandusz hallgatója. Kutatási témája alternatív árvízvédelmi megoldások stratégiai lehetőségeinek tudományos megalapozása. Az MHT tagja és a BME Zielinski Szilárd Építőmérnöki Szakkollégium Vízépítő Tagozatának szenior tagja. A BME Építőmérnöki Kar Kari Tanácsa és Hallgatói Képviselőlete javaslatára a 2020/2021. tanév I. félévében a nem vezető oktatók kategóriában az Építőmérnöki Kar legjobb oktatójaként elért 2. helyezése alapján elnyerte az Oktatók Hallgatói Véleményezése (OHV) díját.

## Körforgásos gazdaság – a mezőgazdaságban, a vízzel összefüggésben

Kolossváry Gábor

Országos Vízügyi Főigazgatóság, 1012 Budapest, Márvány u. 1/d. (E-mail: [ovf@ovf.hu](mailto:ovf@ovf.hu))

### Kivonat

Az Európai Bizottság 2015. évi első Körforgásos Gazdaság Akcióterve magában foglal számos intézkedést, amelyek – más víztakarékossági és hatékonysági intézkedések kiegészítéseként – különösen a vízhiány kezelése céljából ösztönzik a víz újrahaznosítását. A Nemzeti Vízstratégia a társadalom és a víz viszonyának feltárásával és intézkedések megfogalmazásával célozta meg, hogy a világot fenyegető vízválságot hazánk elkerülje, minél teljesebben kihasználjuk a víz adta előnyeinket, valamint kellő biztonságban legyünk a víz fenyegető káraitól, és végül, de nem utolsósorban a vizet, mint az élet mással nem pótolható feltételét és mint a gazdaság erőforrását megőrizzük a jövő nemzedékek számára.

Jelen elemzést a *vízkezesleték és vízhasználatok*, a *termőtalaj veszteség* (a termőhelyekről erodálódott, de a vízfolyásokban koncentrációzott, vízzel és tápanyagokkal telített iszap), valamint a *belvizekkel való gazdálkodás* (belvizek és a nagytavak fölőseinek hasznosítása) és a *szennyezett vizek újrahaznosítása* oldaláról közelítjük meg, különös figyelmet szentelve az egyszer használatos műanyagok megszüntetésével előtérbe kerülő természetes – főleg növényi alapú – anyagok hasznosításának.

### Kulcsszavak

Körforgásos gazdaság, vízkészletek és vízhasználatok, termőtalaj veszteség, belvizekkel való gazdálkodás, szennyezett vizek újrahaznosítása.

## Circular economy - in agriculture, in connection with water

### Abstract

In 2015, the European Commission, in the first Action Plan for the Circular Economy – including several measures that, in addition to other water saving and efficiency measures – has encouraged water recycling, in particular to address water scarcity. By exploring the relationship between society and water and formulating measures, the National Water Strategy aimed to avoid a water crisis threatening the world, to make the most of our water benefits and to be sufficiently safe from the threat of water damage, and last but not least, water, as an irreplaceable condition of life and as a resource for the economy for future generations.

The present analysis is based on *water supplies and water uses* and *loss of soil* (erosion of soil saturated with water and nutrients running from agricultural sites but concentrated in watercourses), as well as *inland water management* (exploitation of inland waters and surplus waters of large lakes), and *recycling of polluted waters* paying special attention to the utilization of natural – mainly plant-based – materials that come to the fore with the elimination of single-use plastics.

### Keywords

Circular economy, water resources and water use, loss of topsoil, “inland water management”, recycling of polluted waters.

### BEVEZETÉS

2015-ben az Európai Bizottság, az első Körforgásos Gazdaság Akciótervében (*European Commission 2015*) rögzítette azokat az elveket és intézkedési javaslatokat, amelyekkel – segítve a körforgásos gazdasági modellt – a termékek, az alapanyagok és az erőforrások értékét a lehető legtovább megőrizzük, a hulladék keletkezését pedig a minimálisra csökkentjük, így hozzájárulva a fenntartható, erőforrás-hatékony és versenyképes gazdaság kialakításához. A cselekvési terv magában foglal számos intézkedést, amely – más víztakarékossági és hatékonysági intézkedések kiegészítéseként – különösen a *vízhiány kezelése céljából* ösztönzi a víz újrahaznosítását.

A Nemzeti Vízstratégia (NVS) (*Nemzeti Vízstratégia 2017*), a társadalom és a víz viszonyának feltárásával és intézkedések megfogalmazásával célozta meg, hogy egyrészt a világot fenyegető vízválságot hazánk elkerülje, másrészt minél teljesebben kihasználjuk a víz adta előnyeinket, harmadrészt kellő biztonságban legyünk a víz fenyegető káraitól, és végül, de nem utolsósorban a vizet, mint az élet mással nem pótolható feltételét és mint a gazdaság erőforrását megőrizzük a jövő nemzedékek

számára. Ennek megfelelően a 2030-ig elérendő vízpolitikai célokat az NVS négy súlyponti feladatban határozta meg (*Nemzeti Vízstratégia 2017*):

1. A gazdaságtámogató vízgazdálkodás és vizeink jobb hasznosítása érdekében a vízviisszatartás növelése és a vízsztetosztás hatékonyabbá tétele,
2. A vízkárelhárítás valamennyi területén (árvíz, belvív, aszály, helyi vízkár) kockázatmegelőző magatartás és eszközrendszer,
3. A vizek mennyiségi és minőségi állapotának fokozatos javítása a fenntartható jó állapot elérésére,
4. Minőségi víziközmű-szolgáltatás és minőségi csapadékvíz-gazdálkodás elviselhető fogyasztói teherviselés mellett.

A hatékony és fenntartható vízkészlet gazdálkodáshoz megfelelő mennyiségi és minőségi adatokat szolgáltató, optimalizált monitoring rendszer kialakítása és üzemeltetése szükséges, egységes irányítású, összehangolt mérési programmal, a vízgazdálkodás valamennyi szakterületének adatigényével. Alapvető kérdés, hogy a víz, mint a természeti rendszerek létfeltételi eleme, megújulása, fenntarthatósága biztosított legyen.



A hazai vízváltsággal fenyegető problémák azonosítását szerkezeti (létesítményhez kötött) és nem szerkezeti (funkcionális) 11 db kategória, 61 probléma jellemzi, kiemelten:

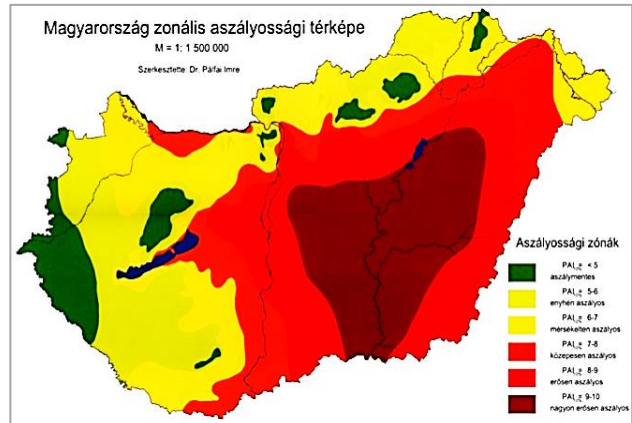
- „*agrár- és élelmiszergazdaságunk megerősödvé, növekvő szerepet vállal a nemzetgazdasági teljesítményben és az exportban, a vidéki térségek fejlődésében és a foglalkoztatásban. Kiváló minőségű és nagy kiterjedésű termőföldjeink jelentős erőforrásunkat képezik, amelyre sokszínű, virágzó, a környezeti adottságokkal összhangban lévő, azokat megőrző és a helyben élőket gazdagító agrár- és élelmiszergazdaság épül,*
- korszerű és versenyképes családi gazdaságok, kis- és középüzemek működnek vidéken, kiegyensúlyozott szerkezetben a nagyobb gazdaságokkal, *biztosítva a vidéki lakosság egy részének a foglalkoztatását, megélhetését, a megtermelt értékekkel növekvő mértékben hozzájárulva a nemzetgazdasághoz, biztosítva az ország egészséges élelmszerellátását,*
- a hatékony öntözéses gazdálkodás elterjesztéséhez és működtetéséhez szükséges *műszaki, infrastrukturális feltételrendszert, és ennek humán és pénzügyi erőforrás igényét meg kell határozni, ezzel összefüggésben rögzíti annak szükségességét, hogy szakmai programot kell készíteni az öntözésfejlesztéshez szükséges jelenlegi és távlati infrastrukturális és vízkészlet-gazdálkodási fejlesztésekről*” (Nemzeti Vízstratégia 2017).

Mindezen célokat a rendelkezésre álló és megújuló csapadékvizek felhasználásán túl a szürke és barna vizek hasznosításával (TISZ projekt, LIFE projektek) lehet és kell elérni.

Jelen elemzést a *vízkészletek és vízhasználatok, a termőtalaj veszteség* (a termőhelyekről erodálódott, de a vízfolyásokban koncentrálnak, vízzel és tápanyagokkal telített iszap), valamint a *belvizekkel való gazdálkodás* (belvizek és a nagytavak fölős vizeinek hasznosítása) és a *szennyezett vizek újrahasznosítása* oldaláról közelítjük meg, különös figyelmet szentelve az egyszer használatos műanyagok megszüntetésével előtérbe kerülő természetes – főleg növényi alapú – anyagok hasznosításának.

## VÍZKÉSZLETEK ÉS VÍZHASZNÁLATOK – KIAKNÁZVA AZ ALTERNATÍV VÍZKÉSZLETEKET

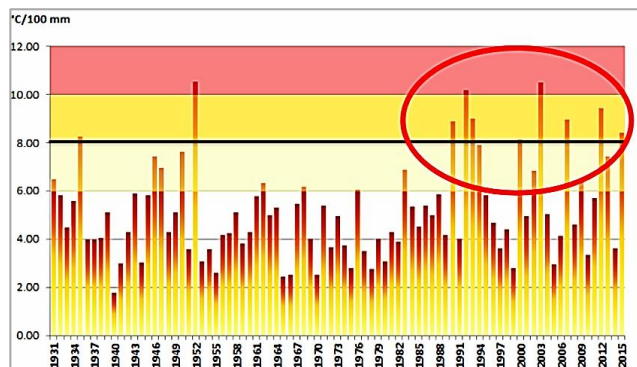
Becslések szerint 2025-re 1,8 milliárd ember fog olyan vidéken, vagy országban élni, amelyet abszolút vízhiány jellemez és a lakosság kétharmadát fogja valamilyen vízkonfliktus érinteni a klímaváltozás következtében (Kun 2019). A klímaváltozás hatásainak túlnyomó többsége a vízzel kapcsolatos, a vízhez kötődő tevékenységekben, vagy a vízszükségletek által jut érvényre, azaz a fenntartható vízgazdálkodás az emberiség és az ökoszisztéma jövőjének kulcskérdése. A használt vizek felhasználásának széleskörű elterjedése megoldás lehet a vízhiány enyhítésére, újrafeldolgozásuk és újra hasznosításuk azon eszközök közé tartozik, amelyek növelhetik az öntözésre felhasználható víz mennyiségét.



1. ábra. Magyarország zónális aszályossági térképe (Forrás: Pálfai 2004)

Figure 1. Zonal drought map of Hungary, (Source: Pálfai 2004)

Magyarországon az elmúlt időszakban egyaránt nőtt az *aszályos évek száma, illetve az aszály intenzitása* (1. ábra). A távlati klímamodellek előrejelzése szerint a Pálfai-féle aszályindex (PAI) a 2021-2050-es időszakra az ország teljes területén mintegy 1,2 °C/mm-rel fog növekedni 1961-1990-hez viszonyítva, ám az ország keleti részén ezt meghaladó változások várhatóak (2. ábra).



2. ábra. Az aszályindex (PAI) országos évi átlagértékeinek alakulása az 1931-2015 közötti időszakban (Forrás: Fiala 2018)

Figure 2. The average annual values of national drought index (PAI) in the period 1931-2015 (Source: Fiala 2018)

A csapadék várható időbeli és térbeli eloszlásának átrendeződése miatt változni fog a felszíni vízkészlet mennyisége. A téli csapadék egyre inkább eső lesz, nem lesz késleltetett lefolyású, hóban tárolt vízkészlet, így folyóinkon magasabban tetőző árhullámokkal kell számolnunk. A síkvidéken rövidebb idejű, de nagyobb kiterjedésű belvizek keletkeznek, és a hosszabb vízhiányos időszakok a csapadékfüggő tevékenységek (mezőgazdaság) biztonságát és az élőhelyek fennmaradását veszélyeztetik. Ugyanakkor a szélsőséges időjárási helyzetekben a növekvő intenzitású és mennyiségű csapadék jelentős károkat okoz a mezőgazdaságban és a településeken. A dombvidéken hirtelen keletkező, gyors árvizek fokozzák az erózióveszélyt, nagyobb mennyiségű szennyezőanyag, hordalék mosódik le a vízgyűjtőkről, miközben romlik a vízfolyások tápanyagmérlege. A tározás nélkül hasznosítható felszíni vízkészletek csökkennek, ezzel együtt a folyók kisvizeinek érezhető csökkenése lesz tapasztalható. A kevesebb hozzáfolyás és a feltöltődési időszak kevesebb csapadéka miatt a tavak természetes

vízkeszlete is csökken. A vízfolyások érzékenyebbé válnak a szennyezőanyag-terhelésekkel szemben, hiszen csökken az öntisztuló-képesség, az állóvizekben nő az eutrofizáció.

A szárazabb talajállapotok és a hevesebb csapadéktervékenységek okán a felszín alatti vizek mennyiségére és minőségére is jelentős hatással van a klímaváltozás. Az öntözésre fordítható felszíni vizek mennyisége már jelenleg is kritikus. A szárazabb időjárás következtében a felszín alatti vizek kitermelésének növekedése tovább növeli a felszín alatti vizektől (talajvíz) függő ökoszisztémák, vizes élőhelyek (pl. szikes tavak) veszélyeztetettségét. A helytelen mezőgazdasági gyakorlatok, a vízviszszatartó helyek területhasználata váltása (szántó), a nem megfelelő agrotechnika és termesztés-technológia tovább csökkentik a termőhelyek ellátó képességét és az ökoszisztémák túlélési esélyeit.

A szélsőséges időjárási körülmények között a *természbiztonság megteremtésének egyik legjelentősebb eszköze a hatékony mezőgazdasági vízfelhasználás*. Az öntözésfejlesztési beruházások során figyelembe kell venni az *alternatív vízkészletek* által biztosított lehetőségeket, így hozzájárulva a Vízköret Irányelv (VKI) célkitűzéseinek megvalósításához, egyensúlyt teremtve az érintett víztestek állapotára gyakorolt hatások mérséklése és a fejlesztési tevékenységek között!

### TERMŐTALAJ VESZTESÉG – A HASZNOSÍTHATÓ MEDERANYAG DILEMMÁJA

A talaj hihetetlenül gazdag, csodálatos „élőhely”, nélküle nincs élet a földön. Működése pedig alapvetően a víztől függ. Vízzel nélkül ásványi szemek összessége, ami a víz által termékenyül meg és válik „termőhellyé”. Évente 20 millió, percenként 23 hektár termékeny terület tűnik el Földünkön az aszály és sivatagosodás következtében, azaz válik a talaj terméketlenné – a víz hiánya miatt.

Magyarország jelentős részén évtizedek óta az erózió következményei jelentős vízgazdálkodási (vízrendezési, vízminőségi és vízháztartási), öntözési, talajvédelmi és termőhelyi problémának számítanak. Kisvízfolyásoknál, állóvizeknél, öntözővíz, belvíz, árvíz és kettős működtetésű csatornáknál gyakorlatilag a medertérben felhalmozódó lágy üledék valójában az az értékes termőtalaj, amelyre az Alaptörvény szerint mindenkinek vigyázni kellene.

A mezőgazdasági termőterületre vetítve jelenleg Magyarországon átlagosan minimum 0,5 cm az évente eltűnő termőtalaj mértéke. Ezen rohamos mértékű veszteséget, ha nem állítjuk meg, és nem fordítjuk vissza, akkor néhány évtizeden belül a magyar mezőgazdaság számára rendelkezésre álló földterület termőképessége olyan alacsony lesz, hogy az ország nem lesz képes ellátni saját magát sem mezőgazdasági terményekkel.

*E folyamat megállítása tehát nemzetgazdasági érdek, mely Magyarország jövő felnevelő generációja számára létfontosságú kérdés, amely két területet érint:*

- a medrekben jelenleg már meglévő talajjavító mederanyagot lehetőség szerint valamilyen országos program alapján minél előbb a termőterületre visz-

za kell juttatni. Ezzel egyrészt lassítjuk a termőtalaj további csökkenését, másrészt az árvizek és belvizek negatív hatásait, az általuk okozott eróziót is csökkenteni tudjuk, valamint

- a termőtalaj vízmedrekbe való bejutását minél hatékonyabban meg kell előzni.

A mederiszap elsősorban a környező területről bemosódott, mezőgazdaságból származó termőföldet tartalmazó értékes anyag, melynek elhelyezését, és ezáltal eltávolítását akadályozza, hogy ez az anyagfajta önállóan nincs jogszabályban szabályozva. A XX. század végéig ezt az anyagfajtát a mezőgazdaság kotrás után örömmel fogadta és kihelyezte a termőterületekre. Jelenleg, a jogszabályi keretek hiánya miatt a hatósági kezelése – annak ellenére, hogy ez egy értékes anyag – mára hulladékként minősíti. Emiatt számos vízfolyásból, csatornából az érintett kezelő vagy a parti sávban kényszerül elhelyezni a mederiszapot, vagy rendkívül költséges módon lerakóra szállítja el. Ez a gyakorlat a mederiszap eltávolítást erőteljesen visszatartja, miközben a medrekben a leülepedett iszap mennyiségének növekedésével csökken annak szállítóképessége, ugyanakkor a vízfolyásokból a mezőgazdaság számára egyre több öntözővizet kellene biztosítani. A mederiszap megnövekedése a vízkárelhárítási – azaz árvizes vagy belvizes – helyzetben élet- és vagyónvédelmi problémákat is okozhat, mivel az érintett vízfolyás csapadékvíz befogadó is, nem beszélve a depóniák kialakítása következtében növekvő belvízveszélyekről.

*A mederiszap körforgásos gazdaságba való áthelyezése az anyag természeténél fogva egyszerű, a hulladék státuszából kivett mennyisége nemzetgazdasági szinten is jelentős érték. A mederiszap túlnyomó többsége a mezőgazdaság számára értékes anyag, melyet szabályozott és ellenőrzött módon vissza kell juttatni a termőterületre. A jogszabályi keretek kialakításán túl rendkívül fontos, hogy a mederiszapra értékes anyagként tekintsenek mind a gazdák, mind a lakosság, mind pedig a hatóságok.*

*Kimondható, hogy a hasznosítható mederanyag parti sávban, tározókban történő elhelyezése vagy hulladékként való elszállítása nemzetgazdasági, mezőgazdasági, vízgazdálkodási és talajvédelmi szempontból is fenntarthatatlan állapot, káros gyakorlat!*

### Az agropotenciál csökkenés megállítása

A mederanyag eltávolítása a mederkezelő problémája és feladata, de – mint láttuk – mezőgazdasági és talajgazdálkodási szempontból kritikus fontosságú, hogy ez az anyag visszajusson a termőföldre, illetve, hogy az újratermelődéssé minimalizálódjon. E kérdéskör komplex vizsgálata egy önálló stratégiai elemzést kíván, így itt csak néhány megállapítást teszünk és egy gyakorlati példát mutatunk be.

Az agropotenciál fogalom meghatározások alapján könnyen belátható, hogy nincs egyetlen számítási metódika és/vagy térkép. Természetesen vannak gyakorlatban megvalósult számítások, ilyen pl. a *talajhangsúlyos "100 pontos" rendszer*. A talajértékszám érzékelteti a talaj termékenységét, amely 1-től 100-ig terjedő pontértékekkel közelíti meg a talajminőségben fennálló különbségeket. Ahhoz azonban, hogy a természeti viszonyok összesség-

gének hatása kifejezésre jusson, a talajértéken kívül az éghajlati, a domborzati és a hidrológiai viszonyok számba vételére is szükség van. Ezek együttesen a *termőhelyi értékszámot* adják meg. A talajértékszám meghatározásának célja a talajtermékenységben fennálló viszonylagos különbségek kifejezése, és pedig azon termékenységi szinten, amelyet a fogatos szántáson és az istállótrágyázáson alapuló növénytermesztés képviselt. Ez az állapot a talajok alaptermékenységének felel meg (*Főríz és társai 1971*). A kiterjesztett fogalom elsősorban abban különbözik, hogy a haszonnövény általi "növényzeti produktivitás", mint ellátó szolgáltatáson túl számos más, adott ökoszisztémához kapcsolódó szolgáltatást is számszerűsít. Ennek a megközelítésnek a legújabb és legmagasabb szakmai színvonalat képviselő hazai példája a NÖSZTÉP projekt. Ennek keretén belül egyrészt elkészült egy napparkész ökoszisztéma lehatárolás ("alaptérkép"), másrészt az élelmiszer munkacsoportban készültek élelmiszer ellátási potenciál számítások, térképes formában is.

Az agropotenciál fogalmának, a meghatározás módjának és számszerűsíthetőségének agrárszakmai elfogadása után a talajjavító mederanyagra és a kezelt mederiszapra is ki lehet számolni majd a későbbiekben az agropotenciál csökkenésre gyakorolt tényleges hatást. Jelenleg azonban ezt nem lehet pontosan megadni, így egy olyan példát mutatunk be, amiből, ha számszerűsíthető módon nem is, de szöveges módon a megfelelő konzekvenciák levonhatóak.

A holtágakból, halastavakból, tározókból kitermelt iszap mezőgazdasági elhelyezésének egyik jó példája a Szarvas-Békésszentandrás holtág egy szakaszából (7+576 és 13+891 fkm szelvények között) kitermelt mederanyag vizsgálata és kihelyezése. A mederanyag elhelyezéséhez készített talajvédelmi tervben a mederiszapot és a termőföldet egyaránt mintázták és jellemzőiket értékelték. Mind a termőföld, mind a mederiszap fajlagos, toxikus elemtartalma a hivatkozott rendeletek szerinti határérték alatti értékeket mutattak. Így a vizsgálatba vont összes terület (211,4056 ha) alkalmasnak minősült a mederiszap elhelyezésére. Az engedélyezhető üledék mennyiségi korlátját a makro tápanyagok (N, P, K) koncentráció szintje és az éves kihelyezhető anyagmennyiség szabta meg.

**Összefoglaló megállapítások:**

- A vizsgálatba vont terület nagysága (211,4056 ha), amely alkalmas a Holtágból kitermelt mederiszap elhelyezésére,
- A toxikus elemek mennyiségére éves és ötéves korlátot tartalmaz a rendelet, ennek alapján 55 t/ha/év, illetve 275 t/ha/öt év mederiszap helyezhető ki,
- A mederiszap egyértelműen kedvezően befolyásolja a termőföld P és K ellátottságát és egyben növeli a termőréteg vastagságát.

*Fentiekből egyértelműen következik, hogy a mezőgazdasági területek termőképessége elsősorban az erózió és a termőréteg fogyása okán rohamosan csökken. A folyamat megállításának legfontosabb eszköze a lefolyással vízfolyásokba jutó termőtalaj visszajuttatása a termőhelyekre.*

Termőhelyeink termőképességének megőrzése ugyanakkor nem csupán mennyiségi, hanem mindinkább tápérték kérdése. A „miért éhezünk” kérdésre, miközben egyre többet eszünk, az alábbi adatok adnak választ (*1. táblázat*):

*1. táblázat. Egyes növények ásványi anyag és vitamin tartalmának változása (Forrás: Padra 2017).*

*Table 1. Changes in the mineral and vitamin content of some plants (Source: Padra 2017).*

Megnevezés	Vizsgált anyag	1985 mg/100 g	1999 mg/100 g	Csökkenés %
Brokkoli	Kalcium	103	33	68
	Folsav	47	23	52
	Magnézium	24	18	25
Bab	Folsav	39	34	12
	Magnézium	26	22	15
	B6 vitamin	140	55	61
Burgonya	Kalcium	14	4	70
	Magnézium	27	18	33
Sárgarépa	Kalcium	37	31	17
	Magnézium	21	9	57
Alma	C-vitamin	5	1	80
	Kalcium	8	7	12
	Magnézium	23	3	84

*Talajaink az intenzív mezőgazdálkodás, kemizáció miatt évtizedek óta degradálódnak, fogynak és silányodnak. Már 1981-ben dr. Stefanovits Pál akadémikus és mások is figyelmeztettek, hogy a talajok átlagos pH-ja egy egész értékkel csökkent a savas esők, az intenzív növénytermesztés és a szerves trágyázás elfelejtése miatt. Talajbiológiai követelményekkel nem igazán foglalkoztak. A talajt inkább egy termést adó fizikai-kémiai közegnek tekintik (akár még a specifikus növénytermesztés is): legyen meg az NPK (nitrogén – foszfor – kálium) egyensúlya, emellett esetleg adunk mikroelemeket. Ennek egyik eredményét írja le dr. Márai Géza: a jelenleg betakarított növényekben a tápanyag- és vitamintartalom 20-80%-a az ötven évvel ezelőttnél (Oláh 2019). És ezek az értékek folyamatosan csökkennek!*

## **BELVIZEKKEL VALÓ GAZDÁLKODÁS – FÓKUSZBAN A VÍZVISSZATARTÁS**

Régóta ismert vízkészlet-gazdálkodási szakmai alapelv és cél, hogy az évek többségében a „vízviSSZatartáson alapuló” tájhasználat kialakítása lehet csak fenntartható. A régi vízgazdálkodó alapvetése, hogy árvízre aszálykor, aszályra árvízkor kell készülnünk. A vízbő időszakok vízfeleslegét térben és időben később hasznosítható vízkészletek alakítjuk át.

A belvízlevezető rendszerek elvezetés-centrikus kialakítása, valamint az üzemeltetésük rugalmatlansága miatt a természetvédelem, a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás, a gazdaságosság és vízkészlet-gazdálkodás követelményét nem tudják kielégíteni (*Nemzeti Vízstratégia 2017*). A vizek visszatartásában rejlő lehetőségek szorosan a belvízvédelem területén, főként az üzemelési (védekezési) és fenntartási költségek csökkentésében kínálnak lehetőséget. Felvetnek ugyanakkor területigénybevételi, művelési ág-váltási, vízminőségi problémákat is. Ugyanis a táblán belül a gazdálkodóknak kell megoldást találniuk, agrotechnikai eszközökkel és egyéb műszaki beavatkozásokkal (mélylazítás, szántásirány,

árokrendszer megléte, erdősáv), valamint terület-használat-váltással. A védekezés jövőbeni sikerességének záloga a mai vízvezetési kényszerek megszüntetése, és a rendszerein víz visszatartási képességének növelése, vagyis a vízvisszatartási üzemrend alkalmazása.

A belvízgazdálkodás alapja a mennyiségi rendelkezésre álláson túl a víz minősége is. A helyben visszatartott víz alkalmassága az egyes használati módokra (öntözés, ökológiai célok stb.) különböző lehet, ezért meg kell találni a víz minőségi paramétereinek megfelelő alkalmazásokat. Elgondolkodtató, hogy a mezőgazdasági területekről lefolyó víz mezőgazdasági hasznosításáról beszélünk, és amint a csatornába jut, olyan vízminőségi kifogásokat keresünk az újabb hasznosításra, ami addig fel sem merült. Csak érdekességként megjegyezzük, hogy sokszor hallhatók pl. azok a felvetések, hogy a halastavakból tisztább vizet juttatnak a befogadóba, mint amit kapnak. Nagy hatásági adósság, hogy a mezőgazdasági vízhasznosításhoz kapcsolódó határértékeket tartalmazó jogszabályok és szabványok vízfolyásokra és állóvizekre megállapítanak vízminőségi határértékeket, míg a belvizekre nem.

A belvizek egyik legelőnyösebb hasznosítási formája a *gyepesítés, illetve a réti- és legelőgazdálkodás*. Hasonlóan az erdősítéshez, itt is csak az összegyülekező vizek tápanyagtartalma lehet magasabb. A nád termesztésének alapfeltétele, hogy a víz áramoljon az állandó vízfrissítés érdekében, illetve a nádat borító víz magassága 40-100 cm közötti legyen. Tekintettel arra, hogy a nádtelepek jelentős tápanyagesapdaként (szűrőmező) működnek, az összegyülekezett, illetve tározott vizek minősége nem jelenthet veszélyforrást. A mélyebb fekvésű legelők övgátolásával igen jól hasznosíthatjuk többletvizeinket. Számos vizsgálat tanúskodik arról, hogy a belvizet ún. szűrőmezőn (nádas, sásos, gyékényes) való átvezetéssel tisztíthatjuk.

A *halastavak* szerepe belvízvédekezés idején nyerhet jelentőséget. A halastavi gazdálkodók részére térítésmentesen biztosított a belvízből történő halastótöltés (a vízminőségi kockázatok vállalása mellett) kiválthat jelentősebb, más gazdálkodó számára használható vízkészletet a későbbi időszakban. Ezzel a tapasztalatok szerint változó mértékben élnek a gazdálkodók, különösen a szolgáltatási díjuk egyösszegűvé és vízfelhasználástól függetlenné tétele után. A halgazdálkodás jelentős előnye más mezőgazdasági ágazatokkal szemben, hogy olyan területek művelésbe vételét is lehetővé teszi, amelyek egyébként alkalmatlanok lennének gazdaságos mezőgazdasági termelésre. Hazánkban ezek főleg a szikes, illetve az erősen kötött réti talajú területek, amelyek igen rossz talajszerkezeti és vízháztartási tulajdonságokkal rendelkeznek. A halastavi hasznosítás esetében figyelemmel kell lenni a

lecsapolóvíz (tápanyag-tartalom, só-tartalom), ugyanakkor a feltöltővíz minőségére is.

### SZENNYEZETT VIZEK ÚJRAHASZNOSÍTÁSA

A vizek használat során szennyeződhetnek, de ez nem azt jelenti, hogy hasznosításukról le kellene mondanunk, hiszen számos esetben akár tisztítás nélkül is újrahasznosíthatók. A lecsapolt vagy tisztítás után rendelkezésre álló vizek, amelyek az egészségügyi és környezeti kockázatok, illetve a vonatkozó nemzeti és uniós jogszabályok figyelembevételével megfelelnek a felhasználási cél szerint meghatározott minőségi előírásoknak, mindenképpen fontos elemei a hasznosítható készleteknek.

A szennyvíztisztító telepről kifolyó víz közvetlen vagy közvetett újrahasznosítása lehet, pl. ha a tisztított szennyvíz közvetlenül az elosztórendszerbe kerül, vagy egy adott tóba, tározóba stb. kerül, ahonnan később felhasználható.

A megfelelően tisztított szennyvíz (1. kép) számos célra felhasználható, a hasznosítási módok a terület egyedi igényei szerint változhatnak, de mindenképpen fontos a hozzájárulás az alábbi környezeti célkitűzésekhez:

- *vízkészlet stabilizálás,*
- *mezőgazdasági célú hasznosítás,*
- *ipari célú hasznosítás,*
- *települési/tájképi célú hasznosítás.*



1. kép. Nyers, tisztított és újrahasznosítható víz  
Photo 1. Raw sewage, plant effluent and reclaimed water

Az EU tagállamaiban a teljes vízhasználat jelentős részét képezi a mezőgazdasági vízhasználat. Az öntözési technológia helyes alkalmazása elősegíti a mezőgazdasági termelők bevétel-maximalizálását, csökkenti a műtrágya iránti igényt, kétszeresen csökkentve a környezet-szennyezést (2. kép). Egészségügyi szempontból jelenleg társadalmilag elfogadottabb a kevésbé kockázatosnak ítélt energetikai célú növények termesztéséhez történő felhasználás, de a felhasználási helyek szerint számos más lehetőséget is ki kellene használni:

- *aszály és vízhiány által veszélyeztetett területen,*
- *homokos, homokos-vályog típusú altalajon,*
- *felszín alatti vízkivételek védőterületén kívül.*



2. kép. Energetikai célú növények termesztéséhez történő felhasználás (TISZ projekt 2020)  
Photo 2. Use for growing energy crops (TISZ project 2020)

A számos próbálkozás (nyárfás, energiaerdő) és tapasztalati eredmény mellett hiányzik a teljes évi hasznosítás lehetősége (vegetáció, illetve fagy), ezért a tározással együttes megoldásokat is elemezni, fejleszteni kell. Az utóbbi időben további erőteljes kutatás indult a mezőgazdaságban, a használt vizek öntözéses újrahasznosítása során. A korunkban igen elterjedt és újonnan megjelenő szennyezőanyagok számos kihívás elé állítják a kutatókat, a probléma megoldása ugyanakkor sokoldalú megközelítést igényelt. A kockázatok csökkentésében egyaránt szerepet és felelősséget kell vállalnia a CEC (Contaminants of Emerging Concern – aggodalomra okot adó szennyezőanyagok) anyagokat tartalmazó termékek fejlesztőinek, a szennyvíziparnak, a vízgazdálkodási szakembereknek és mezőgazdasági termelőknek és a kutató-fejlesztő szereplőknek egyaránt. *A megelőzésben szintén fontos szerepe van a jogalkotóknak, akiknek olyan szabályrendszert szükséges alkotniuk, amellyel biztonságos körülmények közt felhasználhatóak a használt vizek, miközben a szabályozások nem akadályozzák, hanem elősegítik a használt vizek hozzáférhetőségét és felhasználását. Fontos feladat a CEC anyagokra vonatkozó határértékek megállapítása (öntözővízben, talajban, élelmiszer-növényben, élelmiszerekben és késztermékekben egyaránt), de a talajból történő felvehetőség csökkentése és az élelmiszerekre vonatkozó határértékek megállapítása mellett azonban a legfontosabb jövőbeli feladat a szennyezőanyagok környezetbe, termőföldbe kerülésének megelőzése (Kun 2019).*

### Az EU vízpolitika fejlődése a körforgásosság jegyében

Az Európai Unió vízpolitikai fejlesztéseit átszövi a vizek újra hasznosításának támogatása:

- Települési szennyvíz kezeléséről szóló irányelv (91/271/EGK) 12.cikk: „A kezelt szennyvizet, ha csak lehet, ismét fel kell használni. ... az a lehető legkisebb mértékben terhelje a környezetet.” (Európai Parlament és Tanács, 1991).
- Vízkeret Irányelv (2000/60/EK) a vízgazdálkodást már integrált megközelítéssel kezeli, vagyis a VI. mellékletének B része szerint egy lehetséges kiegészítő intézkedés a víz újrafelhasználása (water reuse) (Európai Parlament és Tanács, 2000).

- Blueprint jelentés (2012). Az európai vízkészletek megőrzésére irányuló terv, „...alacsony környezeti hatással járó alternatív vízellátási megoldásokra kell támaszkodni” (European Commission, 2012).
- „Az anyagkörforgás megvalósítása – a körforgásos gazdaságra vonatkozó uniós cselekvési terv” (2015): az ún. visszanyert víz iránti igény potenciális fő forrása a mezőgazdasági öntözés, – legtöbb lehetőség a nagyobb arányú felhasználásra, a vízhiány enyhítésére, és a legnagyobb uniós jelentőség! (European Commission, 2015).
- *Európai Parlament és a Tanács (EU) rendelettervezet a víz újrafelhasználására vonatkozó minimumkövetelményekről (2018): tisztított kommunális szennyvíz, mint alternatív vízforrás felhasználását kezdeményezi: a visszanyert tisztított víz minőségére és ellenőrzésére vonatkozó harmonizált minimumkövetelmények. Cél: Egyenlő versenyfeltételek, a visszanyert vízzel öntözött mezőgazdasági termékek szabad mozgása, egészség és a környezet védelme / EU, (Európai Parlament és Tanács, 2018).*
- 2020. 05. 26-án az *Európai Parlament és a Tanács (EU) 2020/741* rendelete kihirdetésre került (European Parliament & Council of the European Union, 2020), mely mérföldkő a használt vizek újrahasznosítása területén.

A rendelet célja elősegíteni a víz újrafelhasználásának elterjedését minden olyan esetben, amikor ez megfelelő és költséghatékony, és ennélfogva támogató keretet létrehozni azon tagállamok számára, amelyek élni kívánnak vagy élni kénytelenek a víz-újrafelhasználás gyakorlatával. A rendelet:

- a visszanyert (megfelelően kezelt, például települési szennyvíztisztító telepekről származó) víz felhasználási módjaként a mezőgazdasági öntözést javasolja,
- meghatározza a visszanyert víz minőségi osztályait (A, B, C, D) és a kapcsolódó mezőgazdasági felhasználási módokat,
- a tisztított szennyvíz mezőgazdasági felhasználását négy terménykategóriára osztja (A, B, C, D):

- A: Valamennyi nyersen fogyasztandó élelmezési célú termék, amelyek ehettős része *közvetlen kapcsolatba* kerül a visszanyert vízzel, valamint a nyersen fogyasztandó gyökérnövények.
- B: Nyersen fogyasztandó élelmezési célú termékek, amelyek ehettős része a föld feletti terem, és nem kerül közvetlen kapcsolatba a visszanyert vízzel, feldolgozandó élelmezési célú termékek és nem élelmezési célú termékek, beleértve a tej- vagy hústermelő állatok takarmányozására használt termékeket is.
- C: Feldolgozandó élelmezési célú termékek és nem élelmezési célú termékek, beleértve a tej- vagy hústermelő állatok takarmányozására használt növényeket. Nyersen fogyasztandó élelmezési célú termékek, amelyek ehettős része a föld feletti terem, és nem kerül közvetlen kapcsolatba a visszanyert vízzel, feldolgozandó élelmezési célú termékek és nem élelmezési célú termékek, beleértve a tej- vagy hústermelő állatok takarmányozására használt termékeket is.
- D: Ipari növények, energianövények, vetőmagkultúrák.
- meghatározza a *vízminőségi minimum követelményeket (E-coli, BOIs, összes lebegő szilárd részecske, zavarosság, egyéb), ellenőrzési követelményeket, hitelesítő ellenőrzésének szabályait és teljesítménycéljait, kockázatkezelési tervet.*

A rendelet mérőföldkő, vagy inkább kiindulópont a használt vizek újrahasznosítása területén.

#### A magyarországi vízpolitikai szabályozás fejlődése

Magyarországon jelenleg folyik az *Európai Parlament és a Tanács (EU) 2020/741 rendeletének átültetése a magyar jogrendbe, melyet a releváns EU jogszabályok (Víz Keretirányelv, Felszín alatti víz Irányelv, Települési szennyvízkezelés Irányelv, Nitrát Irányelv) előírásaival teljes összhangban kell megvalósítani. A szabályozások során különös gondossággal kell kidolgozni a használat céljától függő különböző határértékek és előírások rendszerét. A vízminőségi előírások alkalmazása mellett biztosítani kell a víz újrahasznosítási rendszer megbízható működését és a megfelelő szabályozási kereteket.*

A szabályozás során egyértelműnek kell lennie, hogy az érintett közigazgatási intézményekhez milyen feladat és hatáskör tartozik. A szabályozást úgy kell kialakítani, hogy az államigazgatási szervezetek között biztosított legyen az összhang megteremtésének. Az engedélyes számára biztosítani kell, hogy megfelelő mértékben informált lehessen arról, hogyan teljesítheti az előírásokat. Egyértelműnek kell lennie, hogy milyen paramétereket vizsgálnak. Ismertnek kell lennie, hogy a folyamat során hol kell az előírásoknak teljesülni, illetve, hogy milyen monitoring alkalmazásával értékelik a vízminőség megfelelőségét. Mérések eredményének hozzáférhetőnek kell lennie. Szabályozni kell, hogy ki végzi a monitoring

tevékenységet. Az újrahasznosítás alapvető előfeltétele a megfelelő és elfogadott kockázatértékelés.

#### A tisztított szennyvíz hasznosítása Magyarországon (TISZ projekt)

Magyarországon a szennyvízöntözés nem új keletű, mivel hazánkban a kommunális szennyvíz öntözéssel történő hasznosításának komoly múltja van. A valós igénybevételhez azonban szükséges:

- a támogatási rendszerek harmonizációja,
- a kibocsátási stabilitás, államilag elfogadott és prioritizált üzemeltető-gazda kapcsolatok,
- a megfelelő szolgáltatás, árszabályozás,
- a szemléletformálás, a tisztított szennyvíz használat társadalom általi jobb elfogadása.

A TISZ projekt célja a költségmegtérülés elvén alapuló tisztított szennyvíz újrahasznosítási feltételrendszernek megalapozása, a nem emberi fogyasztásra szánt használnövények (pl. *energianövények, takarmánynövények, erdészeti ültetvények*) tisztított szennyvízzel történő öntözése kapcsán a *humán egészségügyi és környezeti* kockázatok kiküszöbölése.

#### AZ EGYSZER HASZNÁLTOS MŰANYAGOK ÉS A MEZŐGAZDASÁG

A koronavírus-járvány alatt a házhozszállítás jelentős növekedésével az étel- és italtárolók piaca is szárnyalt. Kétségtől a környezetbarát megoldás a hulladékproblémára, ha nem termelünk hulladékot, de a vendéglátóhelyek csak kisebb része fogad el saját dobozt, és a járványhelyzet okán még az is inkább óvatos volt és egyszer használatosba csomagolt, aki korábban támogatta a többször is használható. Miután nemsokára az egyszer használatos csomagolóanyagok használata megszűnik, jelentősen emelkedik az alternatíva iránti kereslet, amelyben a növényi alapú csomagolóanyagok térhódítása meghatározó lehet.

A cukornád, bambusz, fapép, vagy éppen pálmalevél alapból számos étel-, vagy éppen italtároló dobozt készítenek már. A növényi alapú ételtároló csomagolások alapanyagárai ugyanakkor nagyon széles skálán mozognak. A természetes alapanyag miatt a komposztálhatóság tekintetében nincs kérdés, ugyanakkor a termesztés és a szállítás környezeti lábnyoma földrajzi értelemben hordoz veszélyeket.

Az ehettős tányérok, poharak és evőeszközök, bár megosztják a szakértőket, de még ha nem feltétlenül esszük meg és még drágábbak is, mint egy biológiailag lebomló műanyagból készült csomagolás, otthon komposztálható. A jó öreg papírt már számos szolgáltató, vendéglátó újra alkalmazza, de itt is csak a könnyen komposztálható, bevonat nélküli papír lehet megfelelő. Egyértelműnek látszik, hogy ma csak azok a termékek tudnak népszerűek lenni, amik árban közel vannak az „eredeti”, műanyag változathoz. Ilyenek a papírpohár, fa keverőpálca, papír ételles dobozok, cukornád tányérok.

*És mindez, hogy függ össze a mezőgazdasági vízgazdálkodással? Nos nyilvánvaló, hogy a növényi alapú csomagolóanyagok elterjedése fokozott kihívást jelent a növénytermesztés és a kutatás-fejlesztés teljes területére.*

Ugyanakkor a komposztálással előállított és a termőterületre visszajuttatott, humuszképző anyagok jelentős tápanyagforgalmi többletet és víztakarékos megoldásokat – különösen az öntözéses gazdálkodás elterjedésével – eredményezhetnek.

## JÖVŐKÉP-ÖSSZEGRÉS

A víz újrahasonosítás minimum követelményeinek meghatározása (*European Parliament and Council of the European Union 2020*) megtörtént, a hazai átültetés jelenleg zajlik. Kiemelkedő szerephez jut a vízárazás kérdése, valamint a vízszolgáltatások finanszírozásában a résztvevők közötti költségmegosztás. Meghatározó lesz, hogy miként leszünk képesek az integrált vízgazdálkodás szellemiségét átültetni a szakmai, politikai, társadalmi gondolkodásba.

Különösen fontossá válik

- Az egyes programok finanszírozása (EMVA, LIFE, Horizont 2020) és főként a tartalma, valamint eredményeinek hasznosítása.
- A Kvassay Jenő Terv, mint Nemzeti Vízstratégia megvalósítása.
- Az öntözés-fejlesztési stratégia érvényesítése és az öntözés-fejlesztési program megvalósítása.
- Települési csapadékvíz-gazdálkodási stratégia megalkotása.
- A vízkészletek hosszú távú biztosítása az öntözési igények megfelelő kielégítése érdekében (tározó-fejlesztés).
- A vízviszatarthatás, tározás programjának elfogadása és megvalósítása.
- A vidékfejlesztési programok szakmai integritásának szankcionálható kötelezettsége.

Mindezen szakmai programnak a fentiekre tekintettel kell megfogalmaznia a rövid, közép és hosszú távú feladatait, pl. a szennyvizek újrahasonosítása terén az alábbiak szerint:

Rövid távú célok (1-2 év)

- Mintaterületi projektek támogatottságának elérése.
- A tisztított szennyvíz hasznosításával kapcsolatos szabályozás és finanszírozási javaslat kidolgozása.
- Mintaterületi projektek indítása és lefolytatása.
- Mintaterületi projektek monitoringja, értékelése, tapasztalatok terjesztése.
- Népszerűsítés, szemléletformálás, a tisztított szennyvíz használat társadalom általi jobb elfogadása céljából.

Közép távú célok (3-5 év)

- A mintaterületi projektek eredményei alapján az útmutató készítése, különös tekintettel a vizek állapotára, a talajra gyakorolt hatásra, a terményre, termesztési módszerekre, tisztítási technológiára, tárolásra, a tápanyag újrahasonosítás további fokozására stb.
- Tisztított szennyvizek hasznosításának kiterjesztése a technológiai vizekre vonatkozóan a befektetői tőke bevonása érdekében.
- Ipari együttműködő partnerek felkutatása és projektek kidolgozása.

- Országos TISZ program kidolgozása a mintaterületi projektek tapasztalatai alapján tisztított szennyvíz mezőgazdasági célú hasznosítása érdekében.
- 5 éven belül az érintett szennyvíztisztító telepek kibocsátásának 30%-os mértékű hasznosítása és ezzel az öntözött terület jelentős növelése.

Hosszú-távú célok (5-10 év)

- Országos TISZ Program értékelésének és felülvizsgálatának elkészítése a mintaterületi monitoring adatok felhasználásával, továbbá a megvalósított projektek adatfeldolgozásának eredményeképpen.
- A TISZ Program felülvizsgálati eredményeinek visszacsatolása a program további finanszírozási ütemére vonatkozóan.
- 10 éven belül az érintett szennyvíztisztító telepek kibocsátásának 60%-os mértékű hasznosítása és ezzel az öntözött területek összesen 75 ezer hektárral való növelése.

*Reményeink szerint gyermekeink nem tablettákban, hanem egészséges, a jó termőföldben, tiszta vízzel és meleg napsugárral előállított élelemben veszik magukhoz a szükséges táplálékukat, tartják fenn életüket és egészségüket.*

## IRODALOMJEGYZÉK

*Európai Parlament és Tanács* (1991). 91/271/EGK irányelv a települési szennyvíz kezeléséről. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:l28008&from=HU>

*Európai Parlament és Tanács* (2018). Rendelet terv a víz újrafelhasználására vonatkozó minimum követelményekről, COM(2018) 337, final. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e8951067-627c-11e8-ab9c-01aa75ed71a1.0014.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e8951067-627c-11e8-ab9c-01aa75ed71a1.0014.02/DOC_1&format=PDF)

*Európai Parlament és Tanács* (2000). 2000/60/EK irányelve (2000.) A vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=celex%3A32000L0060>

*European Parliament and Council of the European Union* (2020). Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. (Text with EEA relevance). <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/741/oj>

*European Commission* (2012). Blueprint jelentés. Az európai vízkészletek megőrzésére irányuló terv. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012DC0673&from=EN>

*European Commission* (2015). Closing the Loop - an EU Action Plan for the Circular Economy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>

*Fiala K.* (2018). Az aszálykezelés módszertana. [http://vpf.vizugy.hu/reg/ovf/doc/Az\\_aszalykezeles\\_modszertana\\_Fiala.pdf](http://vpf.vizugy.hu/reg/ovf/doc/Az_aszalykezeles_modszertana_Fiala.pdf)

*Fórizs J.-né, Máté F., Stefanovits P.* (1971). Talajbonitáció – földértékelés. Agrártudományi Közlemények. 30. 359–378

*Kun A.* (2019). Mikroszennyezők a mezőgazdaságban -a használt vizek öntözéses újrahasznosításának aktuális kérdései.

<https://www.maszesz.hu/tudastar/mikroszennyezo-k-a-mezogazdasagban-a-hasznalt-vizek-ontozeses-ujrahasznositasanak-aktualis-kerdesei>

*Nemzeti Vízstratégia (Kvassay Jenő Terv)* (2017). <https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/997966DE-9F6F-4624-91C5-3336153778D9/Nemzeti-Vizstrategia.pdf>

*Oláh P.* (2019). Az EU körforgásos gazdaságprogramja és a szennyvíziszap terméké minősítése, mezőgazdasági hasznosítása. *Vízmű Panoráma*, 5. kötet. [http://epa.oszk.hu/04000/04052/00040/pdf/EPA04052\\_vizmu\\_panorama\\_2019\\_05\\_11-13.pdf](http://epa.oszk.hu/04000/04052/00040/pdf/EPA04052_vizmu_panorama_2019_05_11-13.pdf)

*Padra I.* (2017). Fenntartható körforgások a természetben és a gazdaságban – Szennyvíziszappal az élhető klímáért. <https://maszesz.hu/tudastar/fenntarthato-korforgasok-a-termeszetben-es-a-gazdasagban>

*Pálfai I.* (2004). Belvizek és aszályok. Hidrológiai Tanulmányok. ISBN 963 552 382 3. [https://library.hungaricana.hu/hu/view/VizugyiKonyvek\\_179/?pg=5&layout=s](https://library.hungaricana.hu/hu/view/VizugyiKonyvek_179/?pg=5&layout=s)

## A SZERZŐ



**KOLOSSVÁRY GÁBOR** vízépítő mérnök, hidrológus szakmérnök, vízgazdálkodási szakértő, euro-mérnök, címzetes egyetemi docens (MATE), az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) nyugalmazott fősztályvezetője. Fő szakterületei az integrált vízgazdálkodás, az agrár-vízgazdálkodás, mezőgazdasági vízszolgáltatás, belvízvédekezés, víztározás, víz stratégiák (Aszálystratégia, Nemzeti Vízstratégia, Öntözésfejlesztési Stratégia, Öntözéses-gazdálkodás). A Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) tagja 1980 óta. Az ICID Magyar Nemzeti Bizottságának tagja.



Forrás: [https://makronom.mandiner.hu/cikk/20210325\\_magyarorszag\\_jol\\_halad\\_a\\_korforgasos\\_gazdasag\\_fele\\_vezeto\\_uton](https://makronom.mandiner.hu/cikk/20210325_magyarorszag_jol_halad_a_korforgasos_gazdasag_fele_vezeto_uton)



## A települési vízgazdálkodás és a körkörös gazdaság

Galambos Péter

HAWLE Kft., 2000 Szentendre, Dobogókői út 5. (Email: galambos.peter@hawle.hu)

### Kivonat

A városok a globális gazdaság motorjai, jelenleg a teljes gazdasági termelés mintegy 80% -át adják. A népességnövekedés, valamint annak másodlagos hatásaként a fokozódó urbanizáció, a klímaváltozás, és az erőforrások szűkülése okozta konfliktusok azonban világossá teszik, hogy az addig oly jól működő települési rendszerek esetében is a hagyományos lineáris rendszerről az erőforrás-megőrzés körkörös rendszerére kell áttérni. A természetes ökoszisztéma működésének és sokszínűségének megőrzése érdekében, minőségi váltás szükséges életmódunkban és gondolkodásunkban is. A fenntarthatóság feltételének egy település / kistérség csak akkor felelhet meg, ha környezetét nem terheli meg annyira, hogy az ökológiai egyensúly felboruljon. Egy város esetében az egyensúly kialakítása lehetetlen, azonban a várost egy nagyobb terület, tájorganizmus részeként tekintve, az egyensúly megteremthető. Az egyensúly megteremtésének egyik módja az input–output lehetséges egyensúlyára törekvés és ezek szélső értékeinek minimalizálása.

### Kulcsszavak

Körforgásos gazdaság, városi metabolizmus, anyagáramlás, energiaáramlás, hulladék.

## Municipal water management and the circular economy

### Abstract

The urban areas are the engines of the global economy, currently accounting for about 80% of total economic output. However, the conflicts caused by population growth and its secondary effects of increasing urbanization, climate change and resource scarcity make it clear that even so well-functioning urban systems need to move from a traditional linear system to a circular system of resource conservation, even at the expense of our hedonistic way of life. A settlement / micro-region can only meet the condition of sustainability if its environment is not burdened to such an extent that the ecological balance is upset. In the case of the city, it is impossible to strike a balance, but considering the city as part of a larger area, a landscape organism, the balance can be struck. One way to formulate the balance is to strive for a possible balance of input-output and to minimize their extent.

### Keywords

Circular economy, urban metabolism, material flow, energy flow, waste.

## BEVEZETÉS

A bolygónkra jellemző körkörös folyamatok leginkább érthető és régóta elfogadott formája a hidrológiai ciklus. Globális megközelítésben a víz és a földi rendszerek egyensúlya összerendelhető. Mindig ugyanaz a vízmenyiség, de különböző helyeken, eltérő halmazállapotban és különféle körülmények között, változó minőségben áll rendelkezésre. Ennek megfelelően a lokális rendszereket – legyen az egy kontinens, ország vagy település- a víz minősége és mennyisége, idő és térbeni eloszlása jelentősen befolyásolja. A vízhez való hozzáférés és használatának módja alapvetően meghatározza civilizációnk gazdasági, technológiai, társadalmi és ökológiai fejlettségét. A további létünk minőségét –a fejlődési lehetőségeinket- determinálja, hogy mennyire tudunk dinamikusan, a rendszerek szinergiáját figyelembe véve reagálni; természeti és gazdasági szempontból megfelelő és fenntartható választakat találni a „kevés víz, a sok víz és a szennyezett víz” drámájára (Áder 2019).

A városok a globális gazdaság motorjai, jelenleg a teljes gazdasági termelés mintegy 80% -át adják. A történelem során a városi víz infrastruktúra az állampolgárok jólétét alapozta meg a vízellátás, a szanitáció, az árvizek elleni védelem, a zöldfelületek, az egészséges vízi utak és az ökoszisztémák révén.

A népességnövekedés, valamint annak másodlagos hatásaként a fokozódó urbanizáció, a klímaváltozás és az erőforrások szűkülése okozta konfliktusok azonban világossá teszik, hogy az addig oly jól működő települési rendszerek esetében is a hagyományos lineáris rendszerről az erőforrás-megőrzés körkörös rendszerére kell áttérni. A természetes ökoszisztéma működésének és sokszínűségének megőrzése érdekében, minőségi váltás szükséges az életmódunkban és gondolkodásunkban is. A fenntarthatóság feltételének egy település / kistérség csak akkor felelhet meg, ha környezetét nem terheli meg annyira, hogy az ökológiai egyensúly felboruljon. Egy város esetében az egyensúly megteremtése lehetetlen, azonban a várost egy nagyobb terület, tájorganizmus részeként tekintve az egyensúly megteremthető. Az egyensúly megalapozásának egyik módja az input–output lehetséges egyensúlyára való törekvés és ezek szélső értékeinek minimalizálása (Szabó 2011).

Ez egyre fontosabbá teszi az integrált várostervezés és a települési vízgazdálkodás összekapcsolásával a vízérzékeny (fenntartható és ökológikus) várostervezés kialakítását. Az egyik legkritikusabb kérdés az, hogy a városi rendszerek hagyományos módon történő üzemeltetésével megteremthető-e az egyensúly a városok népességének és környezeti lábnyomának folyamatos növekedése és a természeti környezet megóvása között.

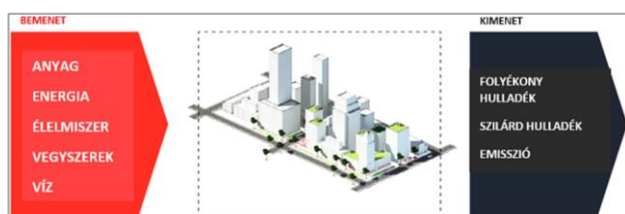
## A TELEPÜLÉSI ELLÁTÓ RENDSZEREK – VÁROSI METABOLIZMUS

Egy működő település látszólagos zűrzavara mögött az ellátó rendszerek csodálatos rendje húzódik meg. A közlekedés, a szociális ellátó rendszerek és a települési vízrendszerek harmonikus működésben kell, hogy biztosítsák a lakosság jólétét. Bár a cikkben a települési vízrendszerekre fókuszálunk, ám a körkörösségre vonatkozó átalakulás minden települési ellátó rendszerrel szemben igényként merül fel.

Az elmúlt néhány évtizedben az éghajlatváltozással párosuló gyors városiasodás új kihívások elé állította a települések lakosságát, a tervezőket és a döntéshozókat egyaránt. A települési vízrendszerek – az ivóvízellátás, a szennyvíztisztítás, az ipari víz szolgáltatása, a csapadékvíz gazdálkodás és belterületi vízrendezés – üzemeltetése és tervezése megköveteli a hagyományos rendszerek és tervezési módok újragondolását.

### Városi metabolizmus: anyag-, energia- és információáramlás

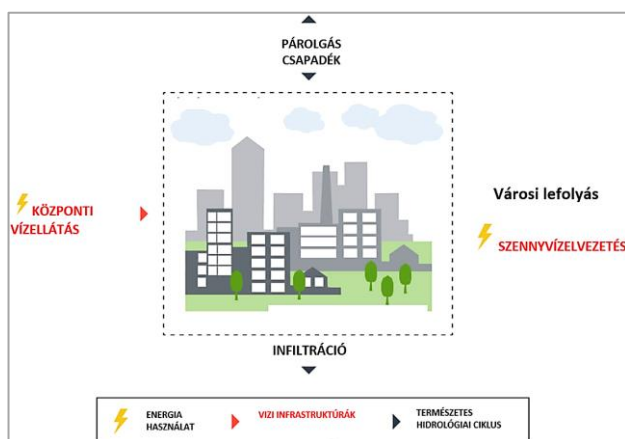
Az 1. ábra a városi víz, anyagok, energia, tápanyagok, vegyi anyagok és hulladékok áramlását mutatja be.



1. ábra. Városi anyag és energiaáramlás  
(Forrás: WSP honlap 2021)

Figure 1. Urban Metabolism (Source: WSP website 2021)

A hagyományos lineáris ellátó rendszerek esetében, az ivóvízellátás, szennyvízgyűjtés és kezelés, hulladékgyűjtés és kezelés, energiaellátás stb. hatalmas globális anyag és energia erőforrást emésztnek fel, miközben óriási hulladékmennyiséget termelnek, jelentős környezeti lábnyomot hagyva (2. ábra).

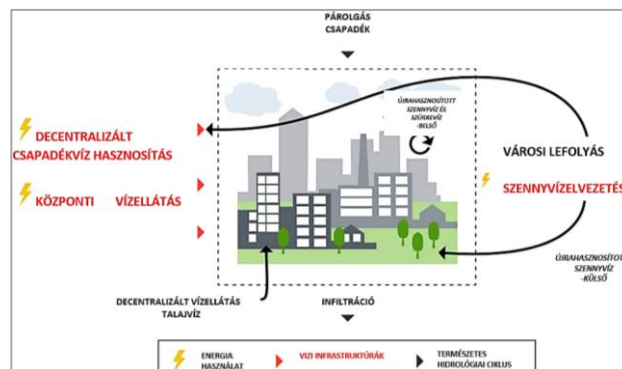


2. ábra. Hagományos lineáris városi vízrendszerek  
(Forrás: WSP honlap 2021)

Figure 2. Conventional linear urban water systems  
(Source: WSP website 2021)

A hosszútávú társadalmi, gazdasági stabilitás és a környezeti fenntarthatóság érdekében, a várososok esetében is a tervezési, az üzemeltetési és a fogyasztási modelleknek

át kell térniük a hagyományos lineáris modelltől a körkörös modellre, vagyis erőforrás-hatékony és zárt hurkú rendszereket kell kialakítani (3. ábra).



3. ábra. Körkörös városi vízrendszerek  
(Forrás: WSP honlap 2021)

Figure 3. Circular urban water systems  
(Source: WSP website 2021)

A fenntarthatósági kérdést vizsgálva a településeknek, település fejlesztési stratégiáknak óriási lehetősége és felelőssége van. Ezért különösen fontos, hogy a körforgásos gazdaság értelmezésénél a vízgazdálkodás jelen kori és jövőben várható feladatait, a szükségességeket és a követelményeket települési szinten is messzemenőig figyelembe vegyünk.

A körforgásos gazdaság stratégiai vizsgálatok a vizet és vízzel való gazdálkodást ugyanúgy nem kívánatos „hagyományos” módon megközelíteni, mint a körkörös gazdaság szempontjából egyéb releváns kérdéseket. A közgazdaságtan egyik érdekes kérdése a víz-gyémánt paradoxon (értékpáradoxon), mely hasznosság és fogyasztás különböző körülmények közötti alakulását vizsgálja. Az értékpáradoxon ezen értelmezéséből az következik, hogy „hagyományos” közzgazdasági megközelítéssel a víz – megfelelő mennyiségben való rendelkezésre állás és használat esetén- nagyon gyorsan csaknem értéktelenné válik a fogyasztó szemében, így gazdasági súlya elenyésző lehet. Ugyanakkor az elmúlt évek/évtizedek, a „gyorsan változó” és sokat elemzett világ megmutatta, hogy minden erőforrás korlátosan áll az emberiség rendelkezésére. Különösen igaz ez a vízre, mely korlátossága az egyre extrémebb idő és térbeni, valamint minőségbeli eloszlására értendő. A társadalmi-gazdasági és körforgásos gazdaságot érintő folyamatban tehát a vizet nem jelen értékén, és főleg nem árán kell vizsgálni, hanem a víz rendszerszintű hasznosságát és nélkülözhetlenségét kell figyelembe venni. A körforgásos gazdaság alapeleme, hogy a rövid távú gazdasági hatások elérése mellett (de leginkább helyett) fokozott jelentőséget kell, hogy kapjanak a hosszabb távú hatékonyságnövelési, üzleti környezet javítási, kapacitási és emberi életminőséget és természeti környezetet javító hatások. Ebben a kontextusban a vízgazdálkodási infrastruktúra létrehozásához és fenntartható üzemeltetéséhez szükséges ráfordítások nagyságrendje összevethető a hozzáadott érték növekménnyel, mely a környezeti, társadalmi, gazdasági, műszaki értelemben vett hasznosságot jelenti.

A modern települési vízgazdálkodás értelmezésekor, tervezésekor szükség van tehát azon holisztikus megközelítésekre, mely a körforgásos gazdaságot és az integrált

vízgazdálkodást jellemzi. Valamint szükség van azon dinamikák figyelembevételére, melyet a klímaváltozás és a társadalmi változások jelentenek.

### A TELEPÜLÉSI VÍZGAZDÁLKODÁS CIKLUSAI

A körforgásos gazdaság viszonylatában legalább két ciklust érdemes vizsgálni:

- **Biológiai-környezeti ciklus:** a víz körforgásban betöltött állapota, funkciója; biológiai-, környezeti jellemzők.
- **Műszaki anyagok ciklusa:** a települési vízgazdálkodást szolgáló infrastruktúra építéséhez és működtetéséhez szükséges anyagok, segédanyagok, energia ciklusa, áramlása.

#### **Biológiai-környezeti ciklus: a víz körforgásban betöltött állapota, funkciója; biológiai-, környezeti jellemzők**

Az ivóvízoldal a körforgásos gazdasági ciklusnak az a része, mely a termék – ez esetben az ivóvíz – kitermeléstől, a kezelésem (gyártás) és az elosztásem (logisztika) át a fogyasztással végződik. Jelen üzemeltetési és technológiai szinten azt mondhatjuk, hogy a hálózati vízellátás ez egyetlen fenntartható vízellátási forma, a társadalom és környezet bármely aspektusát vizsgálva. Az ivóvízellátásnak ez a formája megvalósítja a körforgásos gazdaság egy meghatározó elemét, a teljesítmény/fogyasztás arányos elszámolást. Ennek lényege, hogy a szolgáltatott és számlázott víz mennyisége a mindenkori felhasználással összerendelhető: „sem több, sem kevesebb, mint amire szükség van”. Emellett tulajdonképpen kijelenthetjük, hogy az ivóvízhez való hozzáférés a fogyasztó számára „zéró hulladék” módon áll rendelkezésre.

A visszutas értéklánc elemei a körforgásos gazdasági ciklusnak, vagyis a hulladékkezelés, hulladékhasznosítás, másodlagos nyersanyagok piacának része. A szennyvízelvezetés és szennyvízkezelés is ide tartozik és az egyik legjelentősebb környezetvédelmi, környezetipari tevékenységnek tekinthető. A szennyvízre, mint erőforrásra és a másodlagos nyersanyagok tárházára kell tekintenünk, ugyanis kritikus nyersanyagok kinyerése a szennyvízből a jövőben elengedhetetlen. A technológia folyamatos fejlődésével a szennyvíz erőforrásként és másodlagos nyersanyagként való hasznosítása megtörténik, az újrahasznosítási hatékonyság folyamatosan nő (pl. energia visszanyerés, energetikai hasznosítás, foszfát – kritikus nyersanyag – kivonása, öntözési lehetőségek megjelenése). A kritikus nyersanyagok, mint például a foszfor kérdését az anyagkörforgás megvalósítására – a körforgásos gazdaságra vonatkozó uniós cselekvési terv (COM (2015), (EU-LEX 2015), prioritásként kezeli. Emellett még foglalkozni érdemes a biomassza és bioalapú termékek prioritási pontban megfogalmazottakkal, mely alapján szükséges az alternatívák keresése a fosszilis alapú termékekhez és energiaforrások kiváltására. Egyrészt cél a bioalapú anyagok megújíthatóságukhoz, biológiai lebonthatóságukhoz vagy komposztálhatóságukhoz kapcsolódó előnyök kihasználása, másrészt a biológiai erőforrások haszná-

lata során figyelmet kell fordítani az egész élettartamuk idején kiváltott környezeti hatásokra, valamint a fenntartható beszerzésre. A körforgásos gazdaságban szükség esetén ösztönözni kell a megújuló erőforrások lépcsőzetes hasznosítását, több újrahasználati és újrafeldolgozási ciklussal. Ez együtt jár a hulladékhierarchia alkalmazásával és általánosabban olyan alternatívákkal, amelyek összességében a legjobb eredményhez vezetnek a környezet szempontjából (EU-LEX 2015).

#### **Műszaki anyagok ciklusa**

Ez a ciklus a települési vízgazdálkodást szolgáló infrastruktúra építéséhez és működtetéséhez szükséges anyagok, segédanyagok, energia áramlását jelenti. Ebben a ciklusban a körforgásos gazdaság anyagfolyamatokra bontható, mely a következők szerint definiálható: „A körforgásos gazdaságban használt termékek és alapanyagok értéküket a lehető leghosszabb ideig megőrzik; a hulladéktermelés és az erőforrás-felhasználás szintje minimális, az élettartamuk végét elért termékekben lévő erőforrások pedig bent maradnak a gazdaságban, az ismételt felhasználás révén további értéket teremthetők. Ezzel a modellel Európában biztos munkahelyek teremthetők, és azok az innovatív találmányok kerülnek előtérbe, amelyekből versenyelőnyünk származik, ezenfelül mind a lakosság, mind a környezet olyan szintű védelemben részesíthető, amelyet Európa büszkén képvisel. Mindemellett a fogyasztók is olyan tartósabb, innovatívabb termékekhez jutnak, amelyeknek révén pénzt takaríthatnak meg, életminőségük pedig jobbá válik.” (Európai Bizottság 2015).

A városi vízgazdálkodáshoz tartozó infrastruktúra jellemzője, hogy funkcióját nagyobb beavatkozások nélkül évtizedekig, évszázadokig kell ellássa. Így a körforgásos gazdaság azon tétele teljesülni látszik, miszerint a termékek és alapanyagok értéküket a lehető leghosszabb ideig megőrzik, funkciójukat betöltik. Óriási rendszerek lévén, ezt az infrastruktúrát nagy tehetetlenség jellemzi, így mind a tönkremenetel hatása, mind pedig a fejlesztések/felújítások hatása időben elhúzódik. Az egyes hatások vizsgálata, rizikóelemzése elengedhetetlen, ezért a körforgásos gazdaságnak az alábbi elemeit érdemes figyelembe venni: ökotervezés támogatása, hosszú élettartamú termékek alkalmazása, karbantartás, regenerálás, az ipari szimbiózis előmozdítása, a zöld és körkörös közbeszerzések támogatása, másodlagos anyagfelhasználás.

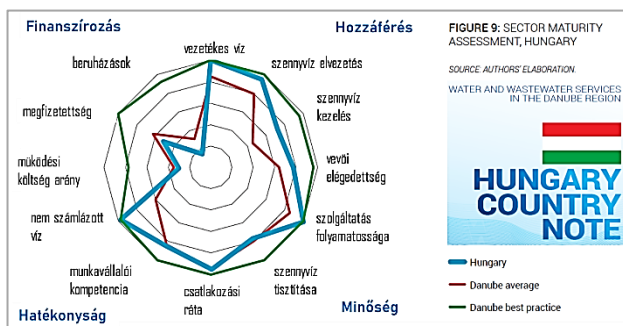
Ez a ciklus tulajdonképpen a víziközmű- értékláncához (ivóvíz kitermeléstől a szennyvíziszap kezelésig) kapcsolódó infrastruktúra létrehozása és/vagy annak fenntartásához és üzemeltetéséhez szükséges termékek ciklusa. Ebben az értelemben –főleg létrehozásakor- a szoros építőipari kapcsolódás jellemző. Az építésnél felhasznált termékek és az alkalmazott technológiák esetén az anyagkörforgás megvalósításával – a körforgásos gazdaságra vonatkozó uniós cselekvési terv foglalkozik (EU-LEX 2015). Kiemelendő gondolat, hogy annak érdekében kell eljárni, hogy biztosítsuk az értékes erőforrások hasznosítását és a megfelelő hulladékgazdálkodást az építési és bontási ágazatban, valamint, hogy megkönnyítsük az építmények környezeti teljesítményének értékelését.

Mivel az Európai Unióban az építőipar felelős az évente keletkező hulladék legnagyobb hányadáért: az építésből és bontásból származó hulladék (főként beton, téglá, gipsz, aszfalt, fa, üveg, fém és műanyag) az összes hulladék 34,7 %-át teszi ki. Ez az arány jelentősen eltér országoként – Ausztriában például 72,1%, Magyarországon 20,7%, míg Svédországban 5,3 százalék, ezért a körforgásos gazdaság hulladékhasznosítás elemei itt hangsúlyosan megjelennek. Bár az építési hulladék anyagok nagy része könnyen, olcsón és szinte teljes mértékben újrahasznosítható lehetne, Európában évente mintegy 600 millió tonna újrahasználatos és újrahasznosítható nyersanyag kerül lerakóba hulladék formájában (Klimainnovációs Szövetség 2020).

## A VÍZ ÉS SZENNYVÍZ RENDSZEREINK JELENLEGI ÁLLAPOTA

A vezetékes vízellátás, a szennyvízelvezetés és a szanitáció által biztosított társadalmi és környezeti előny kizárólag akkor marad fenntartható, ha az elérhető vízkészletek mennyisége és minősége kifogástalan, valamint az ellátó infrastruktúra műszaki állapota a mindenkori technológia követelményeknek megfelelő (fejlődik), a szolgáltatást végző vállalatok gazdasági, műszaki és HR állapota pedig stabil.

A World Bank Group és az IAWD (International Association of Water Service Companies in the Danube River Catchment Area) vizsgálta a Duna menti országokra jellemző vízellátását és szennyvíz kezelését és ezek fenntarthatóságát (4. ábra).



4. ábra. A magyar víz- és szennyvízrendszerek fejlettségi szintje (IAWD 2021)

Figure 4. The maturity of Hungarian water and wastewater systems (IAWD 2021)

Az ábrából látható, hogy hazánkban jelenleg a hozzáférés és a minőség, valamint a hatékonyság oldal jól áll a vizsgált országok átlagához képest, ugyanakkor a fenntarthatóságot, a várható jövőbeni helyzetet tekintve jelentősen az átlag alatt teljesítünk. A tanulmány megállapításai:

- **Teljes költségmegtérülés elve nem teljesül:** Magyarország víziközmű infrastruktúra beruházásainak nagy része az elmúlt években uniós és kormányzati támogatással történt. A meglévő és beruházások által létrejött vagyonelemek és eszközök fenntartását, valamint az értékcsökkenést a vízdíj nem fedezi. Így egyre növekvő eszközkészletet kell

fenntartani, a működtetéshez és karbantartáshoz szükséges erőforrások csökkenésével.

- **Infrastruktúra elöregedésének tendenciája visszafordíthatatlannak tűnik.** Az infrastruktúra elöregedik, és átlagos állapota romlik. A szolgáltatás minősége továbbra is jó, ezért a magas amortizáció egyelőre nem jelent közvetlen ellátási veszélyt.
- **Nem kielégítő felkészülés az éghajlatváltozás kockázataira:** Az éghajlatváltozás által okozott kockázatok ismertek (például szélsőséges csapadékmin-ták, az csapadékvíz és csatorna terheltség okozta rendszerszintű stressz, a vízfogyasztási szokások változása és a vízkészletek változása), de a fenntartás mindennapi kihívásai a romló pénzügyi helyzet megnehezíti a hosszú távra való összpontosítást. A vállalatok stratégiai terveiben az éghajlatváltozás ritkán kap megfelelő hangsúlyt (IAWD 2021).

A fenti megállapításokból is következik, hogy a települések és a régiók vízgazdálkodásánál a jelen infrastruktúra fenntarthatósága, modernizációja mellett az integrált vízgazdálkodást és a klímaváltozáshoz való alkalmazkodást is erősen szorgalmazni kell. Vagyis akkor tudjuk hatékonyan a körkörös gazdaság elveit alkalmazni, ha az érintett infrastruktúra műszaki állapota legalább kielégítő szinten van.

## A JÖVŐ: A VÍZÉRZÉKENY VÁROSOK

A körforgásos gazdaság úgy ösztönzi a gazdasági fejlődést, hogy a gazdasági oldalon szinergiát keres a társadalmi és környezeti érdekekkel (gazdasági, ipari szempontok – környezeti szempontok-társadalom szempontok halmozásának uniója). Ez tulajdonképpen teljes mértékben összhangban van a városok, települések céljaival. Egy település akkor vonzó, ha a gazdasági fejlődés, a zöld szempontok és a társadalmi igények egyensúlyban vannak. Más megközelítésben, az urbanizációs versenyben azon települések lesznek nyertesek, melyek társadalom megtartó képessége magas, tehát a gazdasági és környezeti, valamint szolgáltatási rendszerek egyensúlyban vannak. Az 5. ábra a települési vízgazdálkodás fejlődését mutatja.

A körforgásos gazdaság szimbiózis keresés képességéből adódóan, a települési vízgazdálkodásnál is az integrált vízgazdálkodásban érdemes gondolkodni. A víz település szintű megtartása és hasznosítása jelenti a fenntarthatóságot és az öfenntartást társadalmi, környezeti és gazdasági szempontból. Cél lehet olyan komplex megoldások kidolgozása, mely a vízkár megelőzését (helyi záporok, árvizek) és a víz igényoptimalizált hasznosítását (öntözés, ivó- és használati víz, rekreációt, hősziget hűtést szolgáló vízfelhasználás) szolgálja, valamint segíti a települések klímaváltozáshoz való alkalmazkodását. Az integrált vízgazdálkodás összefogja a célokat (vízérzékeny városok, okos városok, zöld városok, szivacs városok), ágazatokon túlnyúló szinergiák szükségessége miatt elősegíti a rendszerszintű innovációt, ezáltal lendületet ad a Kutatás + Fejlesztés + Innováció tevékenységeknek. E téren történő beruházások multiplikátor hatása pedig a gazdaságélénkítés!



5. ábra. Települési vízgazdálkodás fejlettségi szintjei „Vízérzékeny város” evolúció (Forrás: Buzás 2016)

Figure 5. Development steps of municipal water management, the evolution of “Water-sensitive city” (Source: Buzás 2016)

### NÉHÁNY MINTAPROJEKT A KÖRKÖRÖS TELEPÜLÉSI VÍZGAZDÁLKODÁSRA

A gyakorlatban alkalmazott megoldás esetén látszik, hogy az integrált vízgazdálkodás felé való elmozdulás motorja a klímaváltozás, eszköze pedig a körforgásos gazdasági modell lesz.

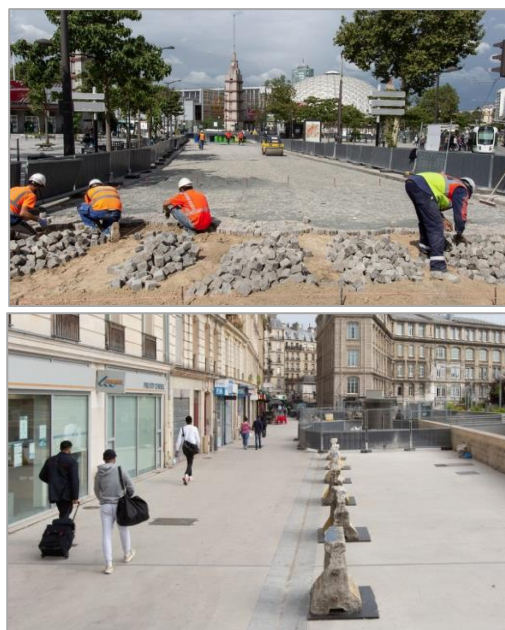
#### Zaj és hősziget effektus csökkentés

Az autóforgalom okozta zajártalom és a nyári hőség csökkentésére hivatott újfajta aszfalttal kísérleteznek Párizsban. A francia főváros három forgalmas sugárútján egyenként 250 méteres szakaszon fektettek le újszerű aszfaltot, amely a remények szerint felére csökkenti a gépjárműforgalom okozta zajt, nyaranta pedig vízzel hűti a környezetét.

A francia cégek által kifejlesztett útburkolat világosabb, vagyis kevesebb fényt elnyelő anyagból van, emellett a szokásosnál porózusabb, hogy képes legyen víz tárolására és a környezet hőmérsékletének csökkentésére anélkül, hogy veszítene tartósságából.

A 2021-ig tartó teszt-projekt (C-LOW-N ASPHALT) célja a hőmérséklet 2 Celsius-fokos (a gyalogosok esetében a hőérzet 3 Celsius-fok) csökkentése és a zajártalom megfelezése, legalább 3 decibeles csökkentése. A hatóságok azt ígérik, hogy az aszfalt hűtésére nem ivóvíz-minőségű ipari vizet használnak.

(Paris honlap 2021)



(Forrás: Párizs város honlapja 2021)

(Source: Homepage of Paris 2021)



(Forrás: Salzburg város honlapja 2021)

(Source: Homepage of Salzburg city 2021)

#### Környezeti hőmérséklet csökkentése és a csapadékvíz elvezető rendszer terhelésének csökkentése

Az épületeken létesített „zöld oázisok” nemcsak a jobb városi klímát biztosítják (akár 3 Celsius-fokkal is hűthetik a környezeti hőmérsékletet), hanem heves esőzés esetén, vízmegtartó képességük révén csökkentik a csapadékvízrendszerre jutó terhelést is.

(Salzburg város honlapja 2021)



Forrás: Lassonde school (2017)  
Source: Lassonde school (2017)

### Emberi élettér és természet egyensúlya: Függőleges Város (Vertikal Forest)

A Sanzpoint Arquitectura cég Mexikóban elkészülő lakópark projektjében a vízszintes és függőleges felületek 70%-át a növények adják, az épületek mesterséges felülete mindössze 30%. A házak kialakítása elősegíti a természetes szellőzést, folyamatosan tisztítja és megújítja a beltér és az épületek mikrokozmoszának levegőjét. A Sanzpoint építészei szerint, az épületek innovatív kivitelezése 85%-kal csökkenti az energiafogyasztást (fények és légkondicionálás).

(Yanko design honlapja 2021)

### ÖSSZEFOGLALÁS

Összeegyeztethető-e a városiasodás a fenntartható fejlődéssel? Élhetőbbé tudjuk-e tenni városainkat az éghajlatváltozás ellenére? Sőt, a körkörös gazdaság eszközei egyszerre szolgálják az élhető, vízérzékeny város és a fenntartható városi rendszerek céljait?

A válasz igen, és ami meglepő az, hogy a városi lakosság fogadókészsége, nyitottsága az új modellek iránt meglepően tekintélyes. Népszerű - csak hogy néhányat jó példát említsünk - a szelektív hulladék gyűjtés, a házi csapadékvíz-gazdálkodás, a műanyagok kizárása életünkől, a napelemek beépítése és a közlekedési megosztó rendszerek használata. A vállalatok önkéntes fenntarthatósági riportban kötelezik el magukat, és büszkén viselik a fenntartható vállalat címet!

A kérdés az, hogy a gazdasági-politikai döntéshozók túl tudnak-e látni regnálási ciklusukon és képesek-e, hajlandók-e hosszabb távú célokat is szolgálni, akár a rövid távú sikerek kontójára is!

### IRODALOM JEGYZÉK

Áder J. (2019). Nyitóbeszéde a Budapesti Víz Világtalálkozón. [https://gondola.hu/cikkek/114537-A\\_keves\\_viz\\_a\\_sok\\_viz\\_es\\_a\\_szennyezett\\_viz\\_dramaja.html](https://gondola.hu/cikkek/114537-A_keves_viz_a_sok_viz_es_a_szennyezett_viz_dramaja.html)

Buzás K. (2016). Települési csapadékvíz gazdálkodás. Előadás. <https://slideplayer.hu/slide/7528325/> Letöltve: 2021. 08.01.

### Vízmeztartás és hasznosítás

A városi mikroklíma javítása érdekében Berlin város és Berlini Vízmű ügynökséget alapított az esővíz megtartás és hasznosításának érdekében. Támogatják a döntéshozókat, a tervezőket és az állampolgárokat az esővíz kezelésének új módjára vonatkozó decentralizált megoldások megvalósításában. Ennek célja a vízérzékenység és éghajlathoz való alkalmazkodás. Berlinnek úgynevezett szivacsvárossá kell válnia: vagyis "szivacsként felszívja az esővizet, és szükség esetén újra használja". A "Szivacs város" ötletét Kínában fejlesztették ki. Ennek háttérében az éghajlathoz igazodó esővíz-gazdálkodás koncepciója áll, mely hozzájárul a vízvédelemhez, és jelentősen javítja a városi klímát és a biológiai sokféleséget. (Energiezukunft 2018)



(Forrás: Yanko Design honlapja 2021)  
(Source: Homepage of Yanko Design 2021)

Energiezukunft (2018). Berlin soll Schwammstadt werden <https://www.energiezukunft.eu/politik/berlin-soll-schwammstadt-werden/> Letöltve: 2021. 08.01.

EU-LEX (2015). Az anyagkörforgás megvalósítása – a körforgásos gazdaságra vonatkozó uniós cselekvési terv, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:52015DC0614&from=BG> Letöltve: 2021. 08.01.

Európai Bizottság (2015). [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/hu/M/EMO\\_15\\_6204](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/hu/M/EMO_15_6204) Letöltve: 2021. 08.01.

IAWD (2021). Water and wastewater services in the Danube Region. A State of the sector. Hungary. <https://sos.danubis.org/> Letöltve 2021. 09. 05.

Klímainnovációs Szövetség (2020). Körkörös gazdaság lehet a válasz az építőipar hulladékgazdálkodási kihívásaira, <https://klimainnovacio.hu/hu/hirek/2020/04/30/korkoros-gazdasag-lehet-a-valasz-az-epitoipar-hulladeggazdalkodasi-kihivasaira> Letöltve: 2021. 08.01.

Lassonde school (2017). Can 'sponge cities' save the Toronto Islands? <https://medium.com/lassondeschool/sponge-cities-328754005310> Letöltve: 2021. 08.01.

Paris honlap (2021). Letöltve: 2021. 08.01. <https://www.paris.fr/pages/le-point-sur-les-chantiers-de-lete-18360>

*Salzburg város honlapja* (2021). MIT NATÜRLICHEM GRÜN GEGEN DIE HITZE IN DER STADT <https://salzburg.gruene.at/mehr-gruen-fuer-salzburg>

*StN.DE* (2017). Mooswand in Stuttgart Alles schön Grün hier. <https://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.mooswand-in-stuttgart-alles-schoen-gruen-hier.be600ce7-ee94-4402-b79b-6047afc6d334.html> Letöltve: 2021. 08.01.

*Szabó Á.* (2011). Városiasság és fenntarthatóság. Egyetemi Füzet.

[https://www.urb.bme.hu/segedlet/fenntarthato/Varosiasag\\_fenntarthatosag\\_OK.pdf](https://www.urb.bme.hu/segedlet/fenntarthato/Varosiasag_fenntarthatosag_OK.pdf)

*Yanko design honlapja* (2021). <https://www.yankodesign.com/2021/07/22/breathtaking-residential-building-in-mexico-comes-with-its-own-vertical-forest-and-solar-panels-on-its-terrace/> Letöltve: 2021. 08.01.

*WSP honlap* (2021). <https://www.wsp.com/en-CA/insights/ca-can-we-make-urban-water-systems-more-sustainable>. Letöltve: 2021. 08.01.

## A SZERZŐ



**GALAMBOS PÉTER** okleveles mérnök (Miskolci Egyetem). A Hawle Szerelvénygyártó és Forgalmazó Kft. ügyvezető igazgatója és nemzetközi termékmenedzsere, Észak-Rajna-Vesztfália Kutatási, Fejlesztési és Technológiai Minisztérium ösztöndíjasa. A Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség elnökségi tagja, a Magyar Víziközmű Szövetség Vízipari Vezetőségének tagja.



Forrás: <https://docplayer.hu/148894860-Korforgasos-gazdasag-koncepcioja-es-hazai-realitasa-maszesz-xviii-orzagos-konferencia-lajomsizse.html>

## A települési szennyvízrendszerek körforgásos gazdaságba történő bekapcsolásának lehetőségeiről

Melicz Zoltán

tudományos tanácsadó, KaveczkiTerv Kft., 1063 Budapest, Bajnok utca 27. I/16. (E-mail: [zoltan.melicz@kaveczki.hu](mailto:zoltan.melicz@kaveczki.hu))

### Kivonat

A tanulmányban nemzetközi szakirodalmi adatok alapján vizsgáltuk a szennyvíz, mint energia és nyersanyagforrás körforgásos gazdaságba történő integrációjának lehetőségeit. Az értékes anyagok kiaknázásának lehetőségeit röviden bemutattuk, és vázoltuk azok felhasználásának módjait, valamint azokat a hajtó- és fékező erőket, melyek elterjedésük sebességét befolyásolják. Ismertettük azt a jogi környezetet, és piaci mechanizmusokat, melyek a körforgásos gazdaság kiteljesedésére hatnak az Európai Unión belül. A feldolgozott szakirodalom alapján jól látható, hogy számos módszer, eljárás létezik ezeknek az erőforrásoknak a kiaknázására a szennyvízből, továbbá igen intenzív kutatás folyik jelenleg is a kinyerési technológiák fejlesztésére, valamint a jelenleg még laboratóriumi, vagy félüzemi kísérletek üzemi szintre emelésére. Néhány figyelemre méltó innováció hazai adaptációja is megvalósíthatónak látszik, mivel az azokhoz szükséges szakmai háttér és tapasztalat, továbbá részben a gyártói bázis is rendelkezésre áll. Az amszterdami szennyvízrendszer körforgásos gazdaságba történő beillesztésének példáján keresztül bemutattuk azt a stratégiai anyagot, mely segítséget nyújthat a hazai szennyvízrendszerek átállításának megvalósításához.

### Kulcsszavak

Körforgásos gazdaság, nyersanyag kinyerés, energiaforrás, szennyvízrendszerek, iszapkezelés.

## On the possibilities of connecting municipal wastewater systems to a circular economy

### Abstract

In the study, the possibilities of integrating wastewater as an energy and raw material source into the circular economy on the basis of international literature data was investigated. The options for exploiting valuable materials are outlined the ways of their use, as well as the driving and braking forces that affect the rate of their spread was briefly presented. We have described the legislation and market mechanisms that influence the completion of the circular economy within the European Union. Based on the processed literature, it is clear that there are several methods and procedures for the exploitation of these resources from wastewater, and very intensive research is currently underway to develop extraction technologies and to raise laboratory or semi-industrial experiments to full-scale level. The domestic adaptation of some remarkable innovations also seems feasible, as the necessary professional background and experience, as well as partly the production base, are available. Through the example of the integration of the Amsterdam wastewater system into a circular economy, we presented a strategic material that can help to implement the conversion of municipal wastewater systems.

### Keywords

Circular economy, raw material extraction, energy source, sewage systems, sludge treatment.

### BEVEZETÉS

A vízellátó és szennyvízelvezető rendszerek kiépítésével a településeken javult a lakosság életminősége, csökkent a szennyvíz eredetű járványos megbetegedések száma az elmúlt évszázadban. A társadalom biztonságát és jólétét támogató vízi közmű infrastruktúra létesítésének és működtetésének költsége azonban nagy, és a rendszerek elöregedése okán bekövetkező pótlásuk újabb feladatokat jelent, és pénzügyi forrásokat igényel. Ezeknek a rendszereknek a kiépítéséhez, működtetéséhez rendelkezésre áll a szakmai tudás és tapasztalat, de vajon a múltban gyökerező mérnöki, fejlesztői kompetenciák továbbra is irányadóak-e a jövő fejlesztéseinél, avagy új szemléletre, más megközelítésre és innovációkra van-e szükség az egyre drágábban fenntartható vízi infrastruktúrákban történő gondolkodás helyett? Glen Daigger, a Nemzetközi Víz Szövetség (IWA) elnökének véleménye szerint „...Az az igény, hogy a víz ne csak a lakosságot tartsa fenn, hanem az életmódunkat is, óriási mértékben nőtt. De még mindig olyasmikkel próbálkozunk, amiket a múltban tettünk.”, ami azt jelzi, hogy újszerű megoldások keresése vált szükségessé (*Brave Blue World 2020*).

A szennyvízben lévő és kiaknázható energia nagysága kétszerese annak, amit a tisztítására felhasználunk (*Tilmans 2020*), ám egyes szerzők ennél jóval nagyobb mértékűre becsülik a kinyerhető energia nagyságát (*Gude 2016*). Az energiatartalom mellett a szennyvíz olyan nyersanyagokat is tartalmaz, melyek piaci hozzáférhetősége csökken, így annak kinyerése indokolt lenne. Ma már léteznek olyan eljárások, technológiák, melyek képesek a szennyvízben lévő elemek, vegyületek dúsítására és kinyerésére, ám az ilyen megoldások elterjedése meglehetősen lassú.

A víz kulcsfontosságú tényező és a legalapvetőbb kapcsolat a víz, az energia és az anyagok körforgásában (*Olsson 2015, Wang és Fu 2021*). Az UNESCO 2017-ben közzétett jelentése hangsúlyozza a szennyvíz szerepét a körforgásos gazdaságban és javaslatot ad a szennyvíz integrált, négylépcsős folyamatban történő kezelésére, mely szerint a szennyezés csökkentése, illetve a szennyezés megelőzése, a szennyező anyagok eltávolítása, a szennyvíz újrafelhasználása és a melléktermékek visszanyerése kell, hogy jelentse a megoldást a világon (*UNESCO 2017*).



A szakirodalomban nagyszámú, a szennyvíztisztításnak a körforgásos gazdaságba történő lehetséges bekapcsolási módjait ismerhetjük meg, melyek egy része még a laboratóriumi léptéket éppen, hogy meghaladta, de félüzemi és üzemi körülmények között is működő innovációkra is találunk jó példákat. A különböző innovatív technológiák kombinálhatók is; ilyen például az új, ultra alacsony vízfogyasztású vákuumos WC-k (melyek koncentrált fekete szennyvizet eredményeznek) továbbá a hipertermofil anaerob rothasztók összekapcsolása, melyek műtrágya előállításra alkalmasak és összekapcsolhatók az egy lépéses műtrágya előállító eljárással és egy bioelektrokémiai alapokon működő nitrogén visszanyerési technológiával.

A szennyvízben lévő értékes anyagok kinyerésére, természetesen, a közmű fejlettség szintje és az elérhető pénzügyi források nagysága alapján eltérő megoldások alkalmazása indokolt. A fejlődő országok korlátozott anyagi erőforrásai miatt a nagy beruházási költséggel járó nyersanyag és energiavisszanyerő rendszerek kiépítése nehezen megvalósítható. Nincsen tehát univerzális módszer, a fejlesztéseket a helyi viszonyok, lehetőségek függvényében célszerű kialakítani.

A városi vízláncban, különösen a szennyvíz esetében számos kiaknázatlan lehetőség van a ciklus bezárására. Azonban manapság a városok nem tekinthetők fenntarthatónak, mert nem, vagy alig használják (újra) fel hatékonyan a szennyvízben lévő erőforrásokat (*Agudelo-Vera és társai 2012*). Több megközelítés is született és modellek is készültek a városok működésének módosítására, az áruk és szolgáltatások, a fogyasztás és a hulladéktermelés átállítására, melyek megújuló energiát állítanak elő és ahhoz a saját belső erőforrásaikat használják fel.

A természeti erőforrások újrafelhasználására és újrafeldolgozására gyakorolt nyomás növekedik, a szennyvíztisztító telepek, a szennyvíz „biofinomítóként” történő működtetése révén a körforgásos gazdaság bevezetésének kulcsfontosságú technológiai platformja lehetnek: a szennyvíztisztítók az innovatív technológiai megoldások révén az erőforrások jó kihasználását teszik lehetővé (*Veolia 2014*).

Az erőforrások újrafelhasználása kulcsfontosságú lehet, mivel anyag és energiafelhasználás mérséklését eredményezi, valamint csökken a hulladék mennyisége is. Ez az oka annak, hogy a körforgásos gazdaság koncepciója bármely iparágban alkalmazandó, beleértve a szennyvíztisztító szektort is. Az Európai Unió 27 országából már 18 használ fel újra valamilyen szinten újrahasznosított szennyvizet. Sőt, sok szennyvíztisztító telep elérte az energia függetlenséget (önellátás), mivel energiaigényük akár 150% -át is meg tudják termelni. Jelen tanulmányban bemutatásra kerülő technológiák némelyike még kísérleti stádiumban van, ennek ellenére indokolt a probléma, illetve a megoldási lehetőségek bemutatása a teendők optimális megvalósítása érdekében.

A szennyvíz nem csak mint erőforrás jelent értéket, de az abban található anyagok okán a körforgásos gazdaságba kapcsolásának sokféle lehetőségét is láthatjuk. Például a

szennyvízből származó tápanyagok (nitrogén és foszforvegyületek) és az energia (hőenergia és a biogázhasznosítás révén az elektromos energia), de további anyagok, mint például a biomolekulák, a fémek, a szerves és szervetlen vegyületek kinyerésére is több módszer áll már rendelkezésre. A szennyvíziszap mezőgazdasági elhelyezésére vonatkozó, a hazai szakirodalomban is részletesen tárgyalt lehetőségét jelen tanulmányban nem vizsgáljuk (pl. *OVF 2014*).

Kétségtelen tény, hogy a fejlesztések útjában több tényező is áll: a lakosság féltelme, vagy óvatossága a szennyvízhez kapcsolódó anyagokkal szemben, vagy a piaci szereplők (pl. a mezőgazdaság) egyelőre mérsékelt érdeklődése a szennyvíznek, vagy a szennyvíziszapnak a hasznosítására, különösen azokban az esetekben, amikor a nyersanyagok jelenleg még kisebb költséggel szerezhetők be, mintha azokat a szennyvízből nyernék ki. Jól érzékelhető azonban az Európai Unió kezdeményezéseiben, irányelveiben, hogy a körforgásos gazdaság kialakítása a szennyvízrendszerek esetében is fokozódó jelentőséget kaphat a jövőben.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZER

Jelen tanulmányban a körforgásos gazdaság és a szennyvíztisztítás kapcsolatát vizsgáló kutatási területen elért eddigi eredményeket, és megvalósult koncepciókat mutatjuk be a releváns szakirodalmi adatok ismertetésével. A szakterület bő ismeretanyaga számos innovációt is bemutat, azonban jelen tanulmányban csak azokat érintjük, melyek biztató eredményekkel rendelkeznek. A lehetséges fejlesztéseknek a skálája így is széles, az anyagáramok zárt ciklusától, a szennyvíz energetikai hasznosításán át a fontos és drága nyersanyagok (pl. foszfor) kinyeréséig. A körforgásos gazdasági modell jogszabályi keretrendszerének (irányelvek) rövid bemutatása mellett a szennyvíztermelés csökkentésének, a szennyvíz újrafelhasználásának és újrafeldolgozásának, a veszélyes anyagok eltávolításának előnyeit mutatjuk be. Kitérünk néhány ígéretes hazai példára is, melyek a körforgásos gazdasághoz kapcsolódó szennyvíztisztító telepi innovációt mutatnak be.

## A SZENNYVÍZ ÉS SZENNYVÍZISZAP ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSA ÉS NYERSANYAGAINAK KINYERÉSE

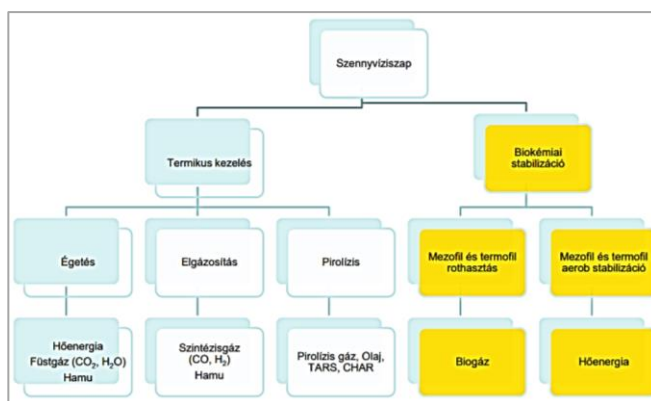
A vízgazdálkodási aspektusok beépültek a 2015-ben elfogadott fenntartható fejlődési célokba (SDG) (*UN-SDG 2015*), mint például SGD2 – az éhség megszüntetése (élelmezésbiztonság elérése, a táplálkozás javítása és a fenntartható mezőgazdaság előmozdítása), SGD6 - tiszta víz és megvalósítandó szennyvízelvezetés, SGD7 - könnyen kezelhető és tiszta energia (biztosítja a hozzáférést a megújuló, megbízható, fenntartható és modern energiát mindenki számára), SGD 14 - élet a víz alatt (kímélje és fenntartható módon használja az óceánokat, tengereket és azok erőforrásait a fenntartható fejlődés érdekében). A vízügyi kérdések beépülése az SDG-be lehetővé tette a hosszú távú fenntarthatóságnak, mint fejlesztési elvnek a kitűzését, melyhez a résztvevő érdekelt felek (politikai döntéshozók, nem kormányzati szervezetek, egyes vállalatok, egyetemi és kutatóközpontok, valamint a társadalom) igen aktív munkája volt szükséges (*A\_RES\_70\_1\_E 2015*).

### A szennyvíz energia tartalmának kinyerése

A jelentős környezetterheléssel járó víz- és szennyvíz-kezelés jelenti az egyik legnagyobb kihívást a körforgásos gazdaság számára, mivel sokféle iparág kapcsolódik össze a települési vízgazdálkodásban (Mauchauffee és társai 2012). Bizonyos esetekben a víz fenntartható kezelése nem elegendő a körforgásos gazdasági célkitűzések eléréséhez, mivel az ipari termelés, a szolgáltatás továbbra is nagy mennyiségű szennyvizet termel, amelyet kezelni kell (Smol és társai 2020). A körforgásos gazdaság stratégiáinak alapelve a kibocsátások csökkentésére, az újrafelhasználás mértékének növelésére és az erőforrások kihasználásának jobb hatékonyságára összpontosít, miközben fellenoldja a gazdasági növekedést (Staher és MacArthur 2019), továbbá közvetlenül kapcsolódik a fenntartható hulladék-és erőforrás-gazdálkodáshoz (Blomsma és Brennan 2017). A Veolia által közzétett jelentés (Stanchev és társai 2017)

szerint a körforgásos gazdaság adaptációja hozzá kell járuljon a szennyvízrendszerek ellenálló képességének fokozásához is.

A víz mellett, hogy erőforrás, szállító közeg is. A háztartások anyagokat, vegyszereket és energiát adnak a vízhez. Ezért a városi vízláncban és különösen a szennyvíz tekintetében sok lehetőség rejlik az erőforrások helyreállítására és a ciklusok bezárására. A szennyvízre sokáig csak mint az emberi egészségre káros anyagra gondoltak és környezeti veszélyt láttak benne, de jelenleg már olyan paradigmaváltást látunk, amely szerint a szennyvíz egy olyan kezelendő hulladék, melyből az anyagok és az energia visszanyerése fontos lenne (Puchongkawarin és társai 2015). Az iszapban rejlő energia kinyerésére számos technikai megoldás létezik, melyeket az 1. ábrán mutatunk be.



1. ábra. A szennyvíziszap energetikai hasznosítása (Forrás: Román 2012)  
Figure 1. Energy recovery from sewage sludge (Source: Román 2012)

### Biogáz termelés

A szennyvíztisztító telepek működtetéséhez felhasznált fajlagos energiaigény nagysága a telep mérete és az alkalmazott technológia függvényében 0,45-1,25 kWh/m<sup>3</sup> közötti. Ezt az energiát általában külsőleg juttatják az üzemhez a villamosenergia ellátó hálózatról. Gude (2016) szerint a települési szennyvíz teljes energiataralma 9,7 kWh/m<sup>3</sup> közeli is lehet, ami akár 12-szer nagyobb is lehet, mint amire a tisztítás során szükség van. A szennyvízben és a szennyvíziszapban lévő energia biokémiai (a szennyvízben lévő szervesanyagokból), hő- és helyzeti energia, ami visszanyerhető. A tisztítás során keletkezett (nyers és főlős) iszap a szennyvízben eredetileg jelen lévő energia körülbelül 60% -át foglalja magába, ezért gyakran csak azt használják az energia visszanyerésére, elsősorban nagyobb méretű tisztítórendszerekben, a biogáz hasznosítás révén.

Az anaerob rothasztás az egyik legelterjedtebb iszapstabilizációs folyamat a szennyvíztisztításban a nagyobb méretű telepeken. Ez a folyamat képes átalakítani a szennyvíziszapban lévő szerves anyagokat biogázzá, amely metán (50% –70%), szén-dioxid (30% –50%) és más gázok (például nitrogén, hidrogén, kénhidrogén) keveréke. A metánt és a szén-dioxidot, amelyek a biogáz jelentős alkotóelemei, üvegházhatású gáznak tekintik. Azonban a fűtőértékének köszönhetően a biogáz felhasználható villamosenergia termelésre, hőtermelésre, valamint járművekben üzemanyagaként történő felhasználá-

sára is. Ennek köszönhetően az anaerob rothasztók alkalmazása rendkívül előnyös környezetvédelmi és energiaellátási szempontból is (Gherghel és társai 2019).

Jelen tanulmánykötetben további cikkek mutatják be a szennyvíz karbonlábnymának csökkentését és energetikai hasznosítását célzó innovációkat. Ilyen pl. a *Körkörös gazdaságfejlesztési és dekarbonizációs lehetőségek a power-to-gas technológia magyar szennyvíztisztító telepeken való alkalmazásával* (Zavarkó és Csedő 2021), melyben a szerzők bemutatják azt az innovatív technikai megoldást, mely révén többlet energia nyerhető ki a biogázból az iszapkezelés során.

A metán kihozatal növelése érdekében különböző iszap előkezelési műveleteket alkalmaznak, melyek a szerves anyagok lebontásának növelését, a hidrolízis sebességének növelését, az iszap viszkozitásának csökkenését (a szivattyúzási költségek csökkentése érdekében) eredményezik (Gherghel és társai 2019). Az alkalmazható előkezelésre sokféle megoldást láthatunk: fizikai módszer az elektromos impulzusokkal történő sejt feltárás, mikrohullámok, ultrahang alkalmazása. Kémiai módszer az ózonozás, a hidrogén-peroxid, nedves levegős oxidációja. Egyéb biológiai módszerek is ismertek, és gyakori a termikus kondicionálás, illetve az előzőek kombinációja. Ezek közül a leggyakrabban fizikai és termikus előkezeléseket alkalmaznak. Utóbbival a metántermelés 51% -os növekedése is elérhető (Ruffino és társai 2015).

### Biodízel előállítás

A fosszilis üzemanyag-tartékok fokozódó szűkössége, valamint a biodízel környezeti előnyei (például az  $\text{SO}_x$  és a  $\text{CO}_2$  kibocsátás csökkenése) miatt növekedik az érdeklődés a bioüzemanyag iránt (Tyagi és társai 2013). A biodízel előállításához általában növényi olajokat használnak, ám az alapanyagként szolgáló növényeknek a kizárólag biodízel gyártás miatti termesztése kedvezőtlenül befolyásolta az élelmiszeripari termelést (Olkiwicz és társai 2016), továbbá a biodízel előállításának költsége nagy a nyersanyagok költsége miatt, ami nem teszi versenyképessé a kőolajból nyert dízellel szemben. A nagy szervesanyag tartalmú szennyvíziszap, amely ipari hulladéknak, illetve egyre inkább már mellékterméknek tekinthető, fokozódó figyelmet kap, mivel a nagy lipidtartalma miatt ideális alapanyag erre a célra. Ezt a bioüzemanyagot finomított trigliceridek és metanol (MeOH) átészterezésével állítják elő. Ez a reakció általában savas vagy bázikus homogén katalizátor (pl.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , KOH vagy NaOH) jelenlétében történik. A savas katalizátorok általában előnyösek ezekben az esetekben. Néhány tanulmány a biodízel nem katalitikus úton történő szintézisére összpontosít, a kutatók túlnyomó többsége azonban új katalizátorok keresésére törekszik, amelyek lehetővé tehetik a biodízel rövid időn belüli előállítását (Zhang és társai 2020).

### Hidrogén- és szintézisgáz termelés

A biohidrogén a biogázzal együtt a szennyvízből kinyerhető bioüzemanyagok egyike, mely jó alternatíva a hagyományos üzemanyagokkal szemben, mivel energiataartalma 2,75-szer nagyobb, mint a szénhidrogén alapú üzemanyagoké (Tyagi és társai 2013). A hidrogént az égése okán lehet a leginkább környezetbarát üzemanyagként tekinteni, tekintettel arra, hogy végtermékként vizet generál. Bár a hidrogén a természetben a legelterjedtebb elem, molekulárisan nem található meg  $\text{H}_2$  formában a magas reakcióképessége miatt, ezért azt ipari körülmények között lehet előállítani. Jelenleg különféle technikák léteznek a szintetikus gázok előállítására, ezek között a pirolízis a legszélesebb körben használt (Chen és társai 2017). A szennyvíziszap esetében a magas víztartalom miatt az iszap szárítás előtti kezelésre van szükség, ami miatt jelentősen megnő az előállítás költsége. A szennyvízből történő  $\text{H}_2$  előállítására további eljárások is felhasználhatók, bár nem annyira elterjedtek. Ilyen például az elektrohidrolízis (Yarımtepe és társai 2019) és egyéb biológiai kezelések, mint például mikrobiális fermentáció (Usman és társai 2019).

### Mikrobiális üzemanyagcella

A bioüzemanyagok és a biogáz előállítása mellett lehetőség van a szennyvíz energia visszanyerésére is a szerves anyagokból közvetlenül az ún. bioelektrokémiai rendszerek révén (Gude 2016, Tang és társai 2019). Ezek a víz- és szennyvíziszapon egyaránt közvetlenül alkalmazható folyamatok nemcsak villamosenergia-termelést eredményeznek, hanem egyes szennyezőanyagok eltávolítására is sor kerül a folyamat során. Az elektródákat tartalmazó üzemanyag cellák (MFC-k) egy anaerob (anód) és egy aerob kamrából (katód) állnak, melyeket

kationcserélő membrán választ el. A membrán feladata, hogy szabályozza a protonok átjutását az egyik kamrából a másikba. A szerves komponensekben gazdag szubsztrátumot az anódra vezetjük, ahol oxidáció révén elektronok és protonok keletkeznek. A keletkező elektronok az anódhoz kerülnek, és ezt követően egy külső áramkörön keresztül haladnak a katódhoz. Ezt a folyamatot nevezzük bioelektromosságnak. Eközben a protonok egyidejűleg az egyik kamrából a másikba a polimer membránon keresztül haladnak. Végül az elektronok és a protonok összekapcsolódnak a kationos oxigénnel és vízmolekulát állítanak elő (Kumar és társai 2019). Az MFC-ben keletkező feszültség nagysága néhány száz millivoltra tehető. Amikor az elektron töltés azon része, amely hozzájárul az áramtermeléshez 40% közeli, a hidraulikus tartózkodási idő pedig 20 óra, az energiapotenciál nagysága, elérheti a  $0,65 \text{ kWh/m}^3$ -t az MFC-ben.

### Hőszivattyúk: hőenergia-visszanyerés

Kézenfekvőnek látszik, hogy a szennyvíz hőenergia-visszanyerését is megvalósítsuk. A háztartásban használt ivóvíz körülbelül 54% -át felmelegítik és  $27^\circ\text{C}$ -os átlagos hőmérsékleten hagyják el a házat: a fürdés és a zuhanyozás vize kb.  $38\text{--}40^\circ\text{C}$ , a csapvíz  $10^\circ\text{C}$ -os hőmérsékleten távozik a házból, míg  $55^\circ\text{C}$ -os a mosógépből és mosógépből származó víz hőmérséklete kb.  $40^\circ\text{C}$  (Van der Hoek és társai 2016). A modern holland házak összes energiavesztésének 40% -át a házból kilépő meleg szennyvíz jelenti. Éves szinten ez  $8 \text{ GJ}$  / ház veszteséget jelent. A szennyvízből származó hőenergia-visszanyerésnek azonban számos hátránya van (Eliás-Maxil és társai 2014). A legjelentősebb probléma ebben a hőkinyerési technológiában a felületek eltömődése és a hőátadás mértékének csökkenése. Ezért a tisztított szennyvízben történő hőszivattyúzás a leginkább javasolható megoldás az energia visszanyerésére, mivel az kevesebb szennyezőanyagot tartalmaz. Ennek ellenére a szennyezőanyagok továbbra is jelentős problémákat okoznak, ezért a fejlesztések olyan csőanyagok és technológiai konfigurációk fejlesztésére összpontosít, amelyek késleltetik a hőcserélők szennyeződését (Shen és társai 2019).

### A vízenergia hasznosítása

A szennyvízben lévő hidraulikus (kinetikus és helyzeti) energia szintén visszanyerhető a szennyvíztisztító telepeken. Ez lényegében kisebb vízerőművek rendszerbe építésének eredményeként lehetséges, mini- és a mikro-vízerőművek alkalmazásával (Sari és társai 2018). A hidraulikus energia hasznosítása környezetbarát megoldás, mivel megújuló energiaforrásnak tekinthető, üvegházhatást okozó kibocsátás nélkül. Ezenkívül, szemben más megújuló energiákkal, mint pl. a Nap-, vagy szélenergiával, a környezeti tényezőktől függetlenül egész évben lehetséges az energia kinyerése az időjárási viszonyoktól függetlenül. Fontos tényező az is, hogy a hidraulikus energia előállítása a szennyvíztisztító telep igénygörbéjéhez igazodik, azaz a fogyasztás csúcsai és a legnagyobb energiaigény időszaka egybeesik (Bousquet és társai 2017).

### Nyersanyagok visszanyerése szennyvízből

A zárt anyagáramok megértését a legjobban talán éppen a növényi tápanyagok körforgásának példája segíti. A mezőgazdasági termelés során előálló nyersanyagok, a feldolgozást követően a fogyasztókhöz jutnak, majd azok felhasználását követően a szennyvízben jelennek meg hulladékként (szennyezőanyagként). Így amennyiben a szennyvízből visszanyerhetők ásványi és szerves anyagként, úgy az anyagáramot zárva visszatérhetnek a mezőgazdasági termelésbe is. Éppen ezért a települési szennyvíz fontossá váló alternatíva a tápanyagvisszanyerés szempontjából, különösen akkor, amikor egyes tápanyagok, elsősorban a foszfor mennyisége és hozzáférhetősége egyre kritikusabbá válik.

Az értékes nyersanyag- és energiaforrások szennyvízből történő kinyerésére az energia-visszanyerési folyamatok megvalósítása, a víz újrafelhasználásának maximalizálása, a víz újrafeldolgozásának előtérbe helyezése és a szennyvízben jelen lévő nitrogén, foszfor és szerves anyagok kivonása jelenthet megoldást (Gottardo Morandi és társai 2018). Ezzel a szennyvízkezelő létesítmények erőforrás-helyreállító központokká alakíthatók át. Különböző technikák alkalmazhatók a tápanyagok visszanyerésére, beleértve a kémiai, fizikai, és biológiai folyamatokat is. Az energia és a tápanyagok (foszfor és nitrogén) visszanyerése mellett, a cellulózszalak (Ruiken és társai 2013), biopolimerek (Tamis és társai 2018), bioműanyagok (Jiang és társai 2012) és fehérje (Matassa és társai 2015) visszanyerése a kutatás szintjén (laboratóriumi és félüzemi körülmények között működően) megjelentek, ám ipari méretű megvalósítása még nem történt meg.

#### A foszfor kinyerése a szennyvízből

A foszfor korlátozott mennyiségben található elem. Csúpan egyetlen foszfátbánya létezik az EU-ban, és kapacitása nem éri el a EU-kereslet 10% -át sem, vagyis az Unió nagymértékben behozatalra szorul. Ugyanakkor jelentős mennyiségű foszfor elvész az anyagok körforgásában. A mezőgazdasági területekre kijuttatott foszfát egy része nem hasznosul, illetve, ha a szennyvizet nem megfelelően kezelik, a felszíni befogadóba jut, abban kedvezőtlen biológiai folyamatokat okozva.

Ugyanakkor a foszfor, a szennyvízben nagy mennyiségben megtalálható. Az élővizek védelmében elengedhetetlenül szükséges a foszfor terhelés csökkentése. Ezért a szennyvíztisztítás során célszerű foszfor kinyerést megvalósítani, azaz olyan foszforvegyületeket és termékeket előállítani, amelyek gazdasági értékkel bírnak. A foszfor szennyvízből történő eltávolítását követően pedig a legtöbb esetben nem nyerik ki az iszaptól, azaz az újrahasznosítása nem történik meg (Kemira 2021).

A foszfor több módon is kinyerhető a települési szennyvíztisztító telepeken: a közvetlenül a tisztított szennyvízből (tehát azt követően, hogy a szennyezőanyagok nagy része már eltávolításra került) kémiai kicsapás alkalmazásával, vagy a csurgalékvizekből. A foszfor elválasztása az rothasztott iszaptól is lehetséges a víztelenítést megelőzően.

A legszélesebb körben alkalmazott módszer a foszfor kinyerésére a struvit (magnézium-ammónium-foszfát)

képzése kristályosodás/kicsapás révén. A struvit kiváló műtrágya, mivel a vízben lassan oldódik így lassú a felszabadulása, és közvetlenül alkalmazható a talajra is (Cieslik és Konieczka 2017). A struvit kinyerésére számos, bevált eljárást ismerünk (Pearl®, PhosNix®, AirPrex®, PHOSPAQ® és Crystalactor®). A kinyerés során a kristályosításra is szükség van, melyeket a Ostara® DHV, Crystalactor®, és P-RoC® technológiák képesek biztosítani. A mezőgazdasági termelők részéről sokszor megfogalmazott aggály az, hogy ezek a kinyert anyagok nehézfémeket is tartalmaznak. Figyelembe véve azonban azt, hogy a nehézfémek alacsony mennyiségben vannak jelen a rothasztott iszap felülúszójában, kevéssé valószínű, hogy ezek talajszennyezést okoznának, ha a terméket a mezőgazdaságban alkalmazzák. A foszfor kinyerését nehezíti, hogy többnyire kis koncentrációban található a szennyvizekben. A betöményítésre több eljárás is ismert (membrán technológia, adszorpció, ioncsere egyéb kémiai módszerek) azonban ezek üzemelési költsége általában jelentős, ami a kinyeréssel elérhető gazdasági hasznot csökkentik. A magnézium-kloriddal történő kémiai reakció során olyan termék állítható elő, amely a mezőgazdaság számára értékes, lassú kioldódású foszfortartalmú műtrágyát ad.

A foszfor-kinyerés az állattartó telepeken volna leginkább lehetséges a képződő trágyából (80%) illetve a települési szennyvízből is, de annál kisebb, mintegy 20%-os mértékben. Az állati trágyából történő kinyerésre már nagy számban találunk példákat, amely eredmények alapján nagyobb hangsúlyt kell fektetni a települési szennyvízből történő hasznosításra a jövőben.

#### A nitrogén kinyerése

A nitrogén eltávolítása a szennyvízből elsősorban környezetvédelmi szempontból (befogadók védelme) fontos. A nitrogén azonban nem korlátozott erőforrás és előállítható levegőből és földgázból is. A nitrogénsók kémiai kicsapással történő eltávolítása lényegében lehetetlen. A szennyvíztisztításban a biológiai módszereket alkalmazzák a nitrogén eltávolítására, de vannak egyes kémiai-fizikai módszerek a nitrogén leválasztására. Ezek például az adszorpció, ioncsere és struvitcsapadék képzés. A legtöbb ezek közül a módszerek közül költséges, különösen, ha a nitrogéntartalom alacsony a vízben, mint ahogy az a települési szennyvízre általában jellemző. Ha a víz nagyobb nitrogén tartalmú, mint például a csurgalékvizekben, és a nitrogén ammónium formában van jelen, a sztrippelés költséghatékony megoldás lehet. Vannak működő példák szennyvíztisztító telepeken, ahol ammónium-nitrátot vagy szulfátot állítanak elő sztrippelési technológiák alkalmazásával. Az ammónium-szulfátot használjuk közvetlenül a mezőgazdaságban műtrágyaként, míg az ammónium-nitrátból ásványi műtrágyákat állítanak elő.

#### A nehézfémek kinyerése a szennyvíziszaptól

Különböző nehézfémek, köztük Cu, Ni, Zn, Cd, Pb, Cr és Hg találhatóak a szennyvíziszapban, így a talaj- és talajvíz esetleges szennyeződése miatt azok korlátozzák a mezőgazdasági felhasználását, mivel azok káros hatással lehetnek az emberek és az állatok egészségére is. Meg kell jegyezni, hogy ezen elemek koncentrációja nagymértékben változik a szennyvíziszap eredetétől függően. Az USA

szennyvíztisztítóiban történt felmérés adatai szerint a legnagyobb Cu (468 mg/kg) és Zn (803 mg/kg) értékei megtalálhatók az szilárd anyagaiban (Mulchandani és Westerho 2016), ami miatt az iszaptól a nehézfémek viszszerése szükséges annak (mezőgazdasági) kihelyezése előtt. A nehézfémek kinyerésére különféle módszerek ismertek: például kelátképzők: EDDS (etilén-diamin-N, N'-borostyánkősav; biológiailag lebontható) és EDTA (etiléndiamin-tetraecetsav; nem biológiailag lebontható) és szerves sav (citromsav) alkalmazása lehetséges. A kutatások során megállapították, hogy az EDDS segítségével a réz viszszerése körülbelül 70%-os mértékű volt 4,5-nél magasabb pH-érték mellett. Hasonló mértékű Cu-extrakció (72%) érhető el EDTA-val (Zhang és társai 2008). A citromsavat (0,1 M) alkalmaztak 3–4 pH-értéken, Cu és Zn 60–70%-os és 90–100%-os viszszerést sikerült elérni (Veeken és Hamelers 1999).

A nehézfémek eltávolítása a szennyvíziszap kilúgozásával és membrántechnológia alkalmazásával is lehetséges (Yesil és Tugtas 2018). A legmagasabb eltávolítási tapasztalatokat kaptak 1,0 M HNO<sub>3</sub> alkalmazásával: az kinyerés mértéke a Cr, Cu, Ni és Zn esetében sorrendben 27%, 22%, 30% és 32% volt.

Az elektrokinetikai kezelést a nehézfémek eltávolításának lehetséges módszereként is vizsgálták (Tang és társai 2018). Megállapítást nyert, hogy ennek a kezelésnek a kombinációja egy kelátképző szer (tetra-nátrium N, N-bisz (karboxi-metil) -glutaminsav) és biológiailag lebontható biológiai felületaktív anyag (ramnolipid) alkalmazásával hatékony lehet.

#### Adsorbens anyagok gyártása szennyvíziszapból

Az adszorpciós szennyezőanyag eltávolítás műveletét az ivóvíztisztításban is gyakran alkalmazzák. Az ammónium, vagy a szerves és szervetlen mikroszennyezők eltávolítása az adszorpciót alkalmazó rendszerek könnyű kezelhetősége miatt terjedt el. Tekintettel arra, hogy az adszorber gyártók egyre nagyobb figyelmet fordítanak a hulladékból származó adszorbensek fejlesztésére és olcsó termékek létrehozására (Smith és társai 2009, Zhai és társai 2004), a szennyvíziszap érdekes alternatíva lehet, ugyanis az adszorbensek szintéziséhez magas széntartalmú anyagok szükségesek. Az adszorbens anyagok készítéséhez alkalmazott legelterjedtebb eljárások a karbonizálás, fizikai aktiválás, a kémiai aktiválás, valamint a fiziko-kémiai aktiválás kombinációja.

#### Bioműanyagok

A polihidroxialkanoátok (PHA) biológiailag lebontható polimerek, és hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a kőolaj alapú poliolefinok, ezért a kőolaj alapú műanyagok fenntartható alternatívájának tekinthetők. Kísérleti eredmények szerint a szennyvíziszap PHA felhalmozási képessége a hagyományos (aerob) eljárásban magasabb volt, mint az aerob – anaerob rendszerben, átlagosan 19% körüli PHA-tartalmat érve el az aerob folyamat után. Kis mennyiségű oxigén hozzáadása az anaerob zónába javíthatja a PHA felhalmozódását. Emellett a PHA előállításához használt reaktortípus is kiemelten fontos: Tyagi és társai (2009) számoltak be arról, hogy a szekvenáló szakaszos reaktor (SBR) a legalkalmasabb a

hatékony termelés eléréséhez, annak rugalmas működésének és egyszerű vezérlésének köszönhetően.

A PHA-termelés a szennyvíztisztító telepeken egy négy szakaszból álló folyamatot foglal magába: (1) biológiailag könnyen lebontható szén eltávolítása a szennyvízből a szelektív biomassza növekedéshez kapcsolva a PHA-tárolási kapacitás növelését elérendő, (2) az iszap savas rothasztása magas illékony zsírsavtartalommal (VFA), (3) PHA felhalmozása a nagy VFA-koncentrációjú folyadékáramból dúsítás alkalmazásával és (4) a PHA viszszerése (Morgan-Sagastume és társai 2014).

#### Építőanyagok készítése szennyvíziszap felhasználásával

A szennyvíziszap oxidokat (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, SiO<sub>2</sub> és Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) tartalmaz, hasonlóan a portlandcementhez vagy az agyaghoz, ezért felhasználható lehet építőanyagok, beleértve az öko cement, téglá, kerámia anyagok, cementkötésű anyagok, vagy könnyű adalékanyagok készítésére (Chang és társai 2020). A szennyvíziszap nagy szervesanyag tartalma befolyásolhatja a cement tulajdonságait, mivel alacsony kötési szilárdságot okoz. Figyelembe véve a egyes szerzők tanulmányait (pl. Xu és társai 2014), a szennyvíziszap mint alapanyag költséghatékony felhasználása leginkább a cementszerű anyagok előállításához javasolható. Az iszap tulajdonságaitól, összetételétől függően azonban különféle kondicionálási lépésekre lehet szükség. Xu és társai (2014) a szárított iszap mészkőhelyettesítőként történő felhasználásáról számoltak be. A mészkő előállítás során a cement 1400 °C-on, a mészkő optimális mennyisége 18 m% alatt kell tartani a könnyítés érdekében a kristályos fázis során a cementklinkerben. Rezaee és társai (2019) beszámoltak arról, hogy a száraz szennyvíziszap részben felhasználható a hagyományos alapanyagok helyettesítésére (5-15% mennyiségig) annak érdekében, hogy a portlandcementhez hasonló tulajdonságokkal rendelkező öko cement jöjjön létre. Ezenkívül a szennyvíziszap a cementben lévő klinkert részben helyettesítheti öncementáló szerként. Valls és Vazquez (2000) ezt felhasználva helyettesítették a portlandcementet a szennyvíziszappal (25% és 50% közötti tartományban), a portlandcement előállításához. Az iszapban található szerves anyag degradációja megtörténik a cement lúgossága miatt: ennek a folyamatnak a felgyorsítása érdekében CaCl<sub>2</sub> és Ca(OH)<sub>2</sub> adható hozzá adalékanyagok. Hamood és társai (2017) szerint a nagy nedvességtartalmú szennyvíziszap biztosíthatja a habarcs elkészítéséhez szükséges víz mennyiséget a pernyével történő kondicionálás révén, így elkerülve a víztelenítést és a szárítást is.

#### Fehérjék kinyerése

Az élelmiszeripari szennyvízben, illetve a települési szennyvíztisztítók nyers szennyvizében is találhatóak továbbá olyan kinyerhető anyagok, melyek nyersanyagként történő hasznosítása gazdasági előnyöket rejt. A tejipari szennyvízben például fehérjék és lipidek is találhatóak, amelyek felhasználhatók állati takarmányként. Gopinatha Kurup és társai (2019) tanulmányukban speciális körülmények között egy alacsony költségű polimer (lignoszulfonát) kinyerését végezték, mely során a lipid 96%-os és a fehérjék (többnyire kazein) viszszerése 46%-os volt.

Az eleveniszap nagy fehérjetartalmának (legfeljebb 61%, illetve a baktériumsejtek száraz tömegének körülbelül 50% -a fehérje), kinyerése nagy gazdasági potenciállal bírhat (*More, és társai 2014*). A fehérjék nagy hozzáadott értékű termékeknek tekinthetők, mivel folyékony műtrágyaként történő felhasználásuk lehetséges (pl. állati takarmányokban). A fehérje visszanyerésére több módot is kidolgoztak már (pl. *Chen és társai 2008, Pilli és társai 2011, Gao és társai 2020*).

#### *Hidrolitikus enzimek kinyerése*

A szennyvízben megtalálható hidrolitikus enzimek, például az amiláz, foszfatáz, lipáz, és a proteáz-glükozidáz. Az aminopeptidáz is jelen van az iszapban, és felelős a szerves anyagok biodegradációjáért az aerob lebontás során (*Karn és társai 2019*). Az enzimeket széles körben használják a mezőgazdaságban, a mosószer, a cellulóz- és papírpapír és a kozmetikumok és tejtermékek gyártásánál is. A proteáz a terápiás szerek fontos összetevőjeként, alkalmazzák például a malária vagy a rák kezelésében. Az enzimek kinyerése tehát ígéretes cél lehet, ám napjainkban még nincs jól kidolgozott módszer.

#### **Fékező erők**

##### *Bizonytalanság és érzékenység*

Noha a körforgásos gazdaság kialakításának folyamatát a lehetséges alternatívák sokfélesége és a sok külső tényező figyelembevételével szükséges kidolgozni, a társadalmi, politikai, technológiai, gazdasági és klimatikus változások miatt számos bizonytalanság merül fel, amelyek befolyásolhatják a stratégiák kimenetelét. Nagy bizonytalanság maga a technológiai fejlődés sebessége is, mivel a gyorsan változó környezeti és piaci viszonyok erősen megváltoztatják az új technológiák megjelenését.

A jogszabályok és a társadalmi elfogadottság szintén tehát bizonytalanságot jelentenek, amelyek befolyásolhatják a stratégia megvalósulását. A szennyvízből kinyert termékek „szennyezettek” lehetnek, és patogén mikroorganizmusokat tartalmazhatnak, melyek akadályozhatják például a szennyvízből kinyert struvit műtrágyaként történő felhasználását. *Matassa és társai (2015)*, javaslata az alapelv megváltoztatására irányult annak érdekében, hogy jogi értelemben is elfogadható legyen például a nitrogén visszanyerése a hulladékokból és a szennyvízből mikrobiális fehérjeként, az állatok takarmányának és élelmiszerének felhasználása során.

A piaci viszonyok, a kereslet és kínálat mértéke továbbá bizonytalanságot eredményez. A szennyvízből történő erőforrás-visszanyerés pénzügyi előnyöket és költségeket egyaránt jelent a szennyvíztisztító rendszerekben, amelyek a helyi körülményektől erősen függenek és sok más változóval is kölcsönhatásba lépnek. A szennyvízből történő struvit visszanyerés pénzügyi tekintetben pozitív esetnek bizonyult, mert ez csökkenti a szennyvíztisztító fenntartási költségeit, miközben alacsonyabb üvegházhatásúgáz-kibocsátást eredményez (*van der Hoek és társai 2016*). A bioműanyagok versenyben vannak a petrokémiai iparból származó műanyagokkal, amelyek nagy mennyiségben, viszonylag alacsony díjak mellett állnak rendelkezésre. Így a bioműanyagok piaci lehetőségei jelenleg korlátozottnak tűnnek. Az alginsavval szembeni

elvárások ellentétesek: az alginátokat többnyire tengeri moszatokból állítják elő, de az alginátos moszatok hozzáférhetősége és költségei az alginát-termelők számára nehézséget okoznak. A magas költségeket a művelet nagy energiaköltsége, a felhasznált vegyi anyagok ára okozza (*Bixler és Porse 2011*). Ezek a piaci körülmények kedvezhetnek az alginsav szennyvízből történő kinyerésének.

#### **A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS BEKAPCSOLÁSA A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁGBA – LEHETŐSÉGEK ÉS A JOGI KÖRNYEZET AZ EU-BAN**

A körforgásos gazdaság Eu általi elfogadása az európai gazdaság fenntarthatóságának javítása érdekében is történt. Ezen belül az ipari és települési vízciklusok okos működtetése fokozott jelentőséggel bír: 2015. decemberében az Európai Bizottság körforgásos gazdaságtervet fogadott el „A hurok lezárása - az Európai Unió (EU) cselekvési terve a Körforgásos gazdaságról” címmel (*COM 2015*). A stratégia az európai polgárok új fogyasztási modelljének irányába történő áttérést, az éghajlat-semleges körforgásos gazdaság megvalósítását célzó, a környezetre gyakorolt hatást minimalizáló elképzelést tartalmaz. Ez a terv elsősorban a hulladék csökkentésére, újrafeldolgozására és hasznosítására összpontosít, elsősorban a papírra, a fémekre, az alumínium, üveg, műanyag és faanyagokra. A kör lezárásának gondolata azonban túllép bármelyik fent említett anyagon és ipari ágazaton, és közvetlenül a szennyvíztisztítási szektort is magába foglalja (*Guerra-Rodríguez és társai 2020*).

A tisztított szennyvizek újrafelhasználása azt jelenti, hogy a víz befogadóban (folyók, patakok) történő elhelyezése helyett azt különböző célokra használják fel. A jelenlegi jogszabályok alapján az látható, hogy az újrafelhasználási lehetőségek változatosak, mivel mezőgazdasági, ipari, városi, rekreációs, vagy akár emberi fogyasztásra is felhasználható a (megfelelő mértékben) megtisztított szennyvíz. A „*Körforgásos gazdaság – a mezőgazdaságban, a vízzel összefüggésben*” című, jelen kötetben megjelenő tanulmány (*Kolossváry 2021*) jó példával szolgál a tisztított szennyvíz hasznosítására.

Az Egyesült Államokban tisztított szennyvizek újrafelhasználása már több éve folyik egyes arid területeken, a túlzott mértékű vízkitermelés miatt megfogvatkozott vízkészletek pótlására (*WateReuse Foundation 2007*). Az aszályokkal sújtott európai országok (ilyen például Spanyolország, vagy dél-Olaszország egyes területei), esetében az Európai Unió is kezdeményezte az újrahasznosítás növelését (*MED Joint Process 2006*). Mindazonáltal az EU-ban a víz visszanyerése és újrafelhasználása a legtöbb esetben számos akadályba ütközik. A tagországok között vannak olyanok, melyek támogató és koherens keretet adnak, míg más, a szárazságnak kevésbé kitett országok jogalkotása nem segíti az újrafelhasználás elterjedését. Néhány európai ország jól kidolgozott jogszabályokkal rendelkezik a szennyvíz újrafelhasználásnak felgyorsítására (pl. Spanyolország, Portugália, Franciaország stb.) míg másoknak egyáltalán nincs is ilyen irányú fejlesztési céljuk. Ezért a Bizottság egy közös szabályozást dolgoz ki és teremti meg a körforgásos gazdaság céljaihoz jól kapcsolható jogszabályi környezetet.

## A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁG KIALAKÍTÁSÁT CÉLZÓ RENDSZEREK - ESETTANULMÁNYOK, PÉLDÁK

Az alábbiakban néhány, a szennyvízrendszereknek a körforgásos gazdaságba történő beintegrálását célzó innovációt mutatunk be a nemzetközi és a hazai gyakorlatból, melyekkel a szennyvíz, illetve szennyvíziszap hasznosítását, illetve a vízfogyasztás csökkentését lehet elérni.

### NEWater, Szingapúr

Közel húsz éve működik Szingapúrban az a vízrendszer, amely a szennyvízből állít elő ivóvizet a lakosság számára. A kialakított rendszer a szennyvíz ivóvízként történő újrahaznátalára ad nagyon jó példát. A meglehetősen mérész fejlesztést Szingapúr kedvezőtlen természeti adottságai kényszerítették ki: a globális megújuló édesvízi erőforrásokat tekintve a 0,6 km<sup>3</sup> rendelkezésre álló vízmennyiséggel és 5,6 millió lakossal, Szingapúr adottsága hasonló Líbiához, Jordániához vagy Szudánhoz és Délkelet-Ázsia leginkább vízhiányosnak tekinthető országaihoz. Szingapúr már az 1970-es években megkezdte a szennyvíz újrahaznátalát. Annak ellenére, hogy abban az időszakban a membrántechnológiát nem tartották gazdaságilag megvalósíthatónak, de az 1990-es évek kísérleteit követően a 2000-es években már a sziget egészén hozzáférhetővé vált a membrán tisztítók segítségével előállított ivóvíz. A NEWater, egy márkanév, amelyet a visszanyert víz alapján neveztek el. Napjainkban a szingapúri vízigény 30% -át biztosítják NEWater-ből, amely szám várhatóan emelkedni fog az elkövetkezendő 40 évben, egészen 55%-ig (*Gheraout és társai 2019*). Meg kell jegyezzük, hogy a NEWater társadalmi elfogadottságához szemléletformálást kellett végezni a helyi lakosság körében. Ennek során egyes, korábban használt fogalmaknak a lakosság számára könnyebben elfogadható módosítására is szükség volt: pl. az oktatás során nem a szennyvíz, hanem a „használt víz”, nem szennyvíztisztító telep, hanem „víz visszanyerő telep” fogalmakat használták (*Madhavan 2021*).

### Amszterdam szennyvízlánca

*Van der Hoek és társai (2016)* az amszterdami szennyvízrendszere egy olyan komplex stratégiát dolgoztak ki, amely révén a város teljes csatornahálózatát és szennyvíztisztító telepét (szennyvízláncát) egy összefüggő rendszerbe illesztették, és ezen a rendszeren tervezték meg a körkörös gazdaságot támogató beavatkozásokat. A példa bemutatását azért tartjuk szükségesnek, mert az Amszterdamra kidolgozott módszertan segítséget adhat a jövőbeni fejlesztések átgondolására és a helyes szakmai és döntéshozói lépések meghozatalára.

Az amszterdami szennyvízrendszer esetében az alábbi célok mentén végezték a stratégia kidolgozását:

- annak meghatározása, hogy mely erőforrások találhatóak Amszterdam szennyvizében, milyen mennyiségben és hol vannak jelen;
- azonosítani és jellemezni a különböző erőforrás-kiyerési stratégiákat és intézkedéseket, és meghatározni, hogy melyek alkalmasak Amszterdamban történő megvalósításra;
- megfelelő erőforrás-visszanyerési intézkedésekből álló, koherens stratégiák kidolgozása.

A stratégia kidolgozását az alábbiakban részletezett lépések mentén végezték:

- *Adaptív politikai döntéshozatal*  
Az adaptív irányelvek különböznek a gyakoribb, statikus politikáktól. Az adaptív politikai döntéshozatal felismeri, hogy - az összetett, dinamikusan változó és bizonytalan körülmények ellenére - döntéseket kell hozni.
- *Anyagáramok analízise*  
Ebben a fázisban a szennyvízrendszer különböző pontjain meghatározták az potenciális erőforrások mennyiségét. Ezek az információk körvonalazták, hogy mely intézkedések lehetségesek és megfelelőek az Amszterdamban található szennyvízrendszernek a körforgásos gazdaság célkitűzéseire történő illesztéséhez.
- *A módszerek jellemzése*  
Az erőforrások áttekintése mellett a lehetséges intézkedések áttekintése is szükséges volt az erőforrás-visszanyerési stratégiák kialakításához. Olyan kérdésekre keresték a választ, mint például „Hogyan befolyásolja az intézkedés az anyagáramlást? Mely erőforrás mekkora részét nyeri vissza beavatkozás? Mennyire szükséges (fontos) a visszanyert anyag? Mennyire korszerű az intézkedés? A szükséges technológia már teljeskörűen rendelkezésre áll, vagy még fejlesztésre van szükség? Milyen változtatások és kötelezettségvállalások szükségesek az intézkedéshez? Szükség van-e a jogszabályok vagy a társadalmi elfogadottság megváltoztatására?
- *Stratégia alkotás*  
A stratégia felölelte a szükséges terveket és intézkedéseket, és ezek között döntéseket hozott a jövőképp megvalósítása érdekében.
- *Korlátozó tényezők és lehetőségek feltárása*  
A stratégia alkotás során bizonyos korlátokat állítottak fel a komplex stratégia kezelhetősége érdekében: ilyen volt az, hogy csak a szennyvízben lévő erőforrásokat vették figyelembe. Az ipari szennyvizet kizárták a vizsgálatból, mivel Amszterdamban a nagy ipari vállalatok saját tisztítóberendezéssel rendelkeznek. A szennyvízből származó hőenergia visszanyerését, mint lehetőséget nem választották ki ebben a vizsgálatban. A víz újrafelhasználását szintén nem vették figyelembe, mivel a közelmúltban készült egy stratégiai dokumentum az ivóvíztermelés legvonzóbb nyersvízforrásairól az amszterdami régióban, melyben a tisztított szennyvizet, mint lehetőséget annak túl magas költségei, és a közegészségügyi kockázatok, valamint a túl alacsony társadalmi elfogadottság okán elvetették.
- *A szükséges intézkedések kiválasztása*  
Összesen 21 intézkedést választottak ki, amelyek jelentős hatással vannak az amszterdami szennyvízlánc anyagáramlására. Ezek az intézkedések vagy megváltoztatják az erőforrások elérhető mennyiségét és/vagy befolyásolják, hogy ezekből az erőforrásokból mennyi nyerhető vissza. Az *1. táblázat* bemutatja az tervezett intézkedéseket, és azok rövid leírását.

1. táblázat. Az amszterdami szennyvízrendszerben alkalmazott körkörös gazdasági intézkedések  
Table 1. Circular economy measures applied in Amsterdam water system

Intézkedés helye	Célja	Módja
Háztartás és vállalkozások	Zöldhulladék elhelyezés	A háztartásokban és/vagy a vállalkozásoknál zöldhulladék daralók vannak felszerelve, ahonnan az örleményt a szennyvíztisztító telepekre szállítják.
	Vízfogyasztás csökkentés	Víztakarékos zuhanyzók és WC-k telepítése.
	Vizelet elválasztása a szennyvízáramtól	A vizelet külön gyűjtése nagyobb szállodákból, irodákból és rendezvényekről. A kezelést és a visszanyerést hagyományos módon végzik a meglévő szennyvíztisztító telepen, de a vizeletet az iszapvonalban kezelik.
	Vizelet külön tisztítása	Külön vizeletgyűjtés után az erőforrások kinyerése külön vizeletkezelő létesítményben történik.
	Pharmafilter alkalmazása	Pharmafilter egység (gyógyszermaradvány és mikroszennyező visszatartás céljából) telepítése kórházakba és egyéb gondozó helyekre.
Szennyvízcsatornák	A csatornarendszerek még nagyobb mértékű szétválasztása	Az egyesített csatornákat elválasztott csatornákra cserélik, így kevesebb csapadékvíz jut a szennyvíztisztító telepekre.
	Talajvíz infiltráció csökkentése	A régi szennyvízcsatornákat újakra cserélik, ami kevesebb talajvíz beszivárgást eredményez.
Szennyvíztisztító telep	Előülepítő	A nyersiszap elválasztása a szennyvíztisztító telepeken ülepítéssel
	Bioműanyag előállítás	Rothasztással (vegyes vagy gazdag kultúra) a bioműanyag (PHA) előállítása (elsősorban nyersiszapból).
	Cellulóz visszanyerése nyersiszapból	Az előülepítő nyers iszapjából a cellulóz kinyerhető.
	Finom hálós szita alkalmazása cellulóz visszanyerésére	Finom hálós szitát használnak a nagyobb részecskék, köztük a cellulózsálak elválasztására
	Módosított UCT (University of CapeTown) eljárás (mUCT)	Jelenlegi biológiai tisztítási folyamat eltávolítja a foszfort és a szerves anyagokat a vízből, és azokat (részben) az eleveniszap pelyhekben tárolja
	Nereda eljárás alkalmazása	Biológiai tisztítási folyamat eltávolítja a foszfort és a szerves anyagokat a vízből, és (részlegesen) a granulált iszapban tárolja.
	Alginsav termelés	Az alginsav, egy poliszacharid, granulált iszapból állítható elő.
	Termikus hidrolízis	Az iszap előkezelése hő és nyomás alkalmazásával, amely sterilizálja az iszapot és biológiailag jobban lebonthatóvá válik.
	Mezofil rothasztás	A hagyományos iszap rothasztása körülbelül 36 ° C-on, mintegy 20 napos tartózkodási idővel.
	Termofil rothasztás	Az iszap rothasztása körülbelül 55 ° C-on, legalább 12 napos tartózkodási idővel.
	Struvit kicsapás	A rothasztott iszaphoz magnézium-klorid hozzáadásával a struvit kicsapódik. Ezt a struvitot elválasztják az iszaptól, és így kinyerhető a foszfor.
	Iszap elhelyezés	Iszapégetés a hulladékhasznosító műben
Mono égetés		A rothasztott iszapot a szilárd hulladéktól elkülönítve égetik, így lehetővé válik a foszfor kinyerését az iszap hamuból.
Foszfor visszanyerése az iszap hamujából		Az iszap hamuban található foszfort vas-sókkal kicsapják.

Az elemzés alapján öt különböző termék nyerhető vizsza a szennyvízből és az iszaptól. A biogáz termeléssel és a foszfor kinyerésével kapcsolatban az üzemeltető már jelentős tapasztalatokkal rendelkezik, a cellulóz tekintetében jelenleg is kutatás folyik annak visszanyerésére. A mikrobiológiai dúsítási kultúrákkal, és a kevert mikrobiális kultúrák polihidroxi-alkanoát (PHA) használatával ígéretes lehetőségnek látják a biopolimer előállítását. A Nereda folyamatban alkalmazott aerob granulált iszap pedig felhasználható lenne alginsav termelésre.

#### Algafarm a biogáz termelésben - All-gas projekt, EU

Az EU által finanszírozott All-gas projektben a legnagyobb méretű, algákat felhasználó szennyvíztisztító rendszerét Spanyolországban építették ki. Az algákkal és a baktériumokkal történő szennyvíztisztítás során az algák biztosítják az oxigént a baktériumok számára, a baktériumok pedig a nem szerves szénforrást az algák számára; a kétfajta mikroorganizmus biomassza kombinációjával lehetővé válik a fokozott mértékű biogáz termelés, ahol autókban felhasznált metánt állítanak elő. Az algákat flotálással választják el a víztől, majd a biogázt hagyományos rothasztókban termelik. Ez a teljesen új perspektíva a szennyvíz bioüzemanyagként történő felhasználását teszi

lehetővé. Az eljárás megvalósításának területigénye azonban jelentős, mert nagy méretű reaktorokra van szükség az algák életben tartásához. Az All-gas koncepció esetében öt évre volt szükség, hogy a laboratóriumi kísérleti fázisból eljussanak üzemi szintű megvalósításig.

#### Hydraloop, Hollandia

A víz újrafelhasználását Hollandiában kisvárosi környezetben vizsgálták, melynek célja a vízfogyasztás csökkentése volt. A kidolgozott Hydraloop rendszer lényege, hogy a lakóépületen belül a szennyvizet szeparáltan gyűjtik, és tisztítás után újra felhasználják azt a zuhanyok, fürdők, mosógépek, kézi mosdók, WC-k működtetéséhez, kerti öntözéshez és medencék feltöltéséhez. A jól ismert vízkezelési technológiák kombinációjában működő rendszer üzemi körülmények között működik, és higiéniai szempontból kifogásolhatatlan vizet biztosít a felhasználók számára.

#### Sanivation, Kenya

A fejlődő országokban, ahol a centralizált szennyvízgyűjtő rendszerek kiépítése a vidéki környezetben nem valósult meg, más megközelítések szükségesek a szennyvízben lévő nyersanyagok kinyeréséhez. Egy jól működő innováció például a kenyai minta, ahol a szelektív fekália gyűjtést



követően a napsugárral történő kezelés (fertőtlenítés), majd a mezőgazdasági hulladékkal történő bekeverés után olyan terméket állítanak elő, mely erőművi fűtésre, elektromos energiatermelésre is használható. Az így létrehozott nagy fűtőértékű brikett égetésével kisebb széndioxid kibocsátás érhető el, mint a hagyományos faszén alkalmazása esetén (*Sanivation 2021*).

### A szennyvíz energia és nyersanyagtartalmának kihasználását megvalósító hazai fejlesztések

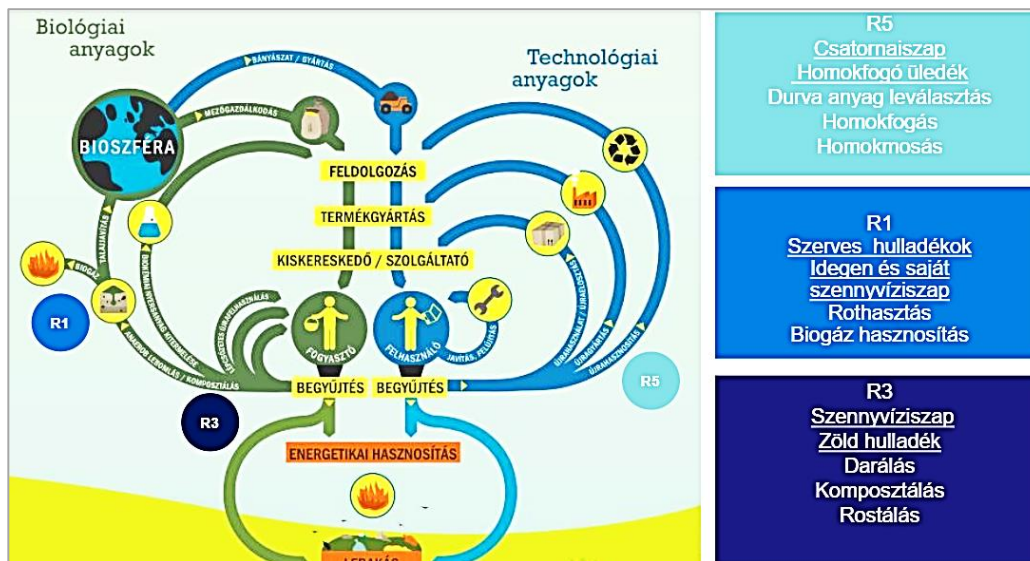
A nemzetközi jó példákat követve, Magyarországon már több helyen találkozhatunk a szennyvíz erőforrásainak kiaknázását célzó szennyvíztechnológiai létesítményekkel. Ezekben a művekben már jelentős mértékű energia visszanyerés történik, illetve néhány esetben (pl. Észak-Budapesti Szennyvíztisztító Telep) az iszapból piaci potenciállal rendelkező termék előállítás is megvalósul. A nagyobb települési szennyvíztisztító telepeinken működő anaerob (rothasztáson alapuló), biogázt előállító iszapkezelő rendszereinkben a mono- (azaz csak telepi iszapokat kezelő), illetve ko-rothasztásra (a telepi iszap mellett egyéb, szerves hulladékot is fogadó) is találunk jól működő példákat (*Román 2012 és 2016*). A ko-rothasztás megvalósításához a szerves hulladék előkezelésére van szükség, a szennyvíziszappal történő összekeverése előtt: a hulladékok mechanikai előkezelése során többnyire valamely rácson történő átvezetést alkalmaznak a nem szerves anyagok (pl. csomagolóanyagok) visszatartására, illetve darálást, homogenizálást végeznek. Szerves hulladék

fogadó állomások létesültek több hazai szennyvíztisztító telepünkön (Észak-pesti és Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepek, Miskolc, Pécs, Zalaegerszeg.) A biogázból nyert villamosenergia a telep tisztítóegységeinek energiaigényét (fűvők, szivattyúk) részben, illetve néhány esetben teljes mértékben is fedezni tudják.

A tisztított szennyvíz mozgási energiájának Archimedes turbinával történő hasznosítása a Budapest Központi Szennyvíztisztító Telepen valósult meg (*Vácsi 2017*), mely a termofil rothasztással kiegészülve a telepi energiaigény több, mint 62%-át fedezni tudja.

Több hazai szennyvíztisztító telepen is (pl. Budakeszi, Debrecen, Tata stb.) megvalósult már a tisztított szennyvíz hőtartalmának kinyerése hőszivattyúk segítségével. A kinyert hőenergiát többnyire épületek fűtésére, használati melegvíz előállításra használják.

A szennyvízből elválasztott hulladékok, illetve a szennyvíz energetikai hasznosítására az Észak-pesti Szennyvíztisztító telep példája igazán jó mintául szolgál (lásd 2. ábra). A ko-rothasztás (növényi és állati eredetű hulladékok fogadása és a szennyvíziszappal történő együtt rothasztása) megvalósítása mellett a mosott csatornaiszapot és homokot habbeton terméké alakítják. A nagy szervesanyag tartalmú iszapokat a csomádi komposztáló telepen zöld hulladékká, illetve részben szilárd tüzelőanyaggá alakítják (*Román 2016*).



2. ábra. A körforgásos gazdaság megvalósulása az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen (Forrás: Román 2016)

Figure 2. Implementation of the circular economy at the North-Pest Wastewater Treatment Plant (Source: Román 2016)

### ÖSSZEFOGLALÁS

A vízfogyasztás csökkentése mellett a fő cél a települési szennyvíz anyagáramának rövidre zárása, illetve a benne lévő anyagok és energia kinyerése, mely révén a szennyvízrendszerek eredményesen bekapcsolhatók a körforgásos gazdaságba. A nemzetközi szakirodalmi adatok felhasználásával, működő példákon keresztül bemutatott energia és nyersanyag kinyerési lehetőségek alátámasztották, hogy a települési szennyvízrendszerekben rejlő lehetőségek kiaknázásával a szennyvízre a továbbiakban erőforrásként kell tekinthetünk. Több olyan jó működő példát

láthatunk, ahol a szennyvíz energiataralmának kihasználásával energiafogyasztás csökkentés érhető el a szennyvíztisztító telepeken akár olyan mértékben, hogy a tisztítástechnológia számára nincsen szükség külső (villamos) energia betáplálására. A gazdaság számára olyan nyersanyagok nyerhetők ki a szennyvízből, melyek ára fokozatosan növekedik (pl. foszfor).

A meglévő energia és nyersanyag kinyerési technológiák továbbfejlesztése jelenleg is folyik, melyek célja a költséghatékony és környezetbarát eljárások kidolgozása

annak érdekében, hogy a kinyerési módszerek versenyképessége növekedjen. Ezeknek a módszereknek a hazai adaptációja néhány helyen – főként nagyobb méretű szennyvíztisztító telepeken – már fellelhető, azonban érzékelhető, hogy további, eddig kiaknázatlan lehetőségek megvalósításának feladata áll előttünk. Az EU által létrehozott jogszabályi kényszerek okán tovább kell fokozni a megújuló energiák kinyerését, illetve a körforgásos gazdasági principium hazai megvalósítását, melyhez a települési szennyvízrendszerek átállítása segítséget nyújthat.

## IRODALOMJEGYZÉK

Agudelo-Vera C.M., Mel, A., Keesman K., Rijnaarts H. (2012). *The Urban Harvest Approach as an Aid for Sustainable Urban Resource Planning*. Journal of Industrial Ecology. <http://www.wileyonlinelibrary.com/journal/jie>

A\_RES\_70\_I\_E (2015). Resolution adopted by the General Assembly on 25 September, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development (A/70/L.1).

Bixler, H.J., H. Porse (2011). A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. Journal of Applied Phycology 23: 321-335.

Brave Blue World 2020 (2017). The emergence of circular economy - a new framing around prolonging resource productivity. Journal of Industrial Ecology. Volume 21, Number 3 pp. 603-614.

Bousquet, C., I. Samora, P. Manso, L. Rossi, P. Heller, A. J. Schleiss (2017). Assessment of hydropower potential in wastewater systems and application to Switzerland. Renew. Energy, 2017, 113, 64–73.

Chang, Z., G. Long, J. L. Zhou, C. Ma (2020). Valorization of sewage sludge in the fabrication of construction and building materials: A review. Resour. Conserv. Recycl. 2020, 154, 104606. Water, 12, 1431 48 of 52.

Chen, X., C. Li, X. Ji, Z. Zhong, P. Li (2008). Recovery of protein from discharged wastewater during the production of chitin. Bioresour. Technol., 99, 570–574.

Cieslik, B., P. Konieczka (2017). A review of phosphorus recovery methods at various steps of wastewater treatment and sewage sludge management. The concept of “no solid waste generation” and analytical methods. J. Clean. Prod. 2017, 142, 1728–1740.

COM (2015). A Bizottság közleménye az Európai parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai gazdasági és Szociális bizottságnak és a Régiók Bizottságának: Az anyagkörforgás megvalósítása – a körforgásos gazdaságra vonatkozó uniós cselekvési terv. Brüsszel, EU.

Daigger, G (2020). Szóbeli közlés. Brave Blue World dokumentumfilm. <https://www.braveblue.world/> Brave Blue World Foundation.

Elias-Maxil, J.A., J. P. Van der Hoek, J. Hofman, L. Rietveld (2014). Energy in the urban water cycle: actions to reduce the total expenditure of fossil fuels with emphasis on heat reclamation from urban water. Renew. Sustain. Energy Rev. 30, 808–820.

Gao, J., W. Weng, Y. Yan, Y. Wang, Q. Wang (2020). Comparison of protein extraction methods from excess activated sludge. Chemosphere, 249, 126107.

Gherghel, A., C. Teodosiu, S. De Gisi (2019). A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy. J. Clean. Prod. 2019, 228, 244–263.

Gheraout, D. N. Elboughdiri, A. Alghamdi (2019). Direct Potable Reuse: The Singapore NEWater Project as a Role Model. Open Access Library Journal 2019, Volume 6, e5980.

Gopinatha Kurup, G., B. Adhikari, B. Zisu (2019). Recovery of proteins and lipids from dairy wastewater using food grade sodium lignosulphonate. Water Resource. Ind. 2019, 22, 100114.

Gottardo Morandi, C., S. Wasielewski K. Mouarkech, R. Minke, H. Steinmetz (2018). Impact of new sanitation technologies upon conventional wastewater infrastructures. Urban Water J. 2018, 15, 526–533.

Gude, V.G. (2016). Wastewater treatment in microbial fuel cells - An overview. J. Clean. Prod. 2016, 122, 287–307.

Guerra-Rodríguez, S., P. Oulego, E. Rodríguez, D. Narain Singh, J. Rodríguez-Chueca (2020). Towards the Implementation of Circular Economy in the Wastewater Sector: Challenges and Opportunities. Water 2020, 12, 1431.

Jiang, Y., L. Marang, J. Tamis, M.C.M. van Loosrecht, H. Dijkman, R. Kleerebezem, R. (2012). Waste to resource: converting paper mill wastewater to bioplastic. Water research, Volume 46, Issue 17, 1 November 2012, Pages 5517-5530.

Kemira (2021). Water management 2040 - Future scenarios. Internet publikáció. <https://www.kemira.com/insights/report-water-management-2040/> Letöltés időpontja: 2021. június 6.

Kolossváry G. (2021). Körforgásos gazdaság – a mezőgazdaságban, a vízzel összefüggésben, Hidrológiai Közlemény, 101. évf. 3. szám.

Kumar, S.S., V. Kumar, S. K. Malyan, J. Sharma, T. Mathimani, M. S. Maskarenj, P. C. Ghosh, A. Pugazhendhi (2019). Microbial fuel cells (MFCs) for bioelectrochemical treatment of different wastewater streams. Fuel 2019, 254, 115526

Madhavan, G. (2021). *Beyond Tap Water: NEWater wins Public Confidence in Singapore*. Internet publikáció. [http://www.jwwa.or.jp/english/kaigai\\_shiryu/IWA\\_workshop\\_6th\\_2-5.pdf](http://www.jwwa.or.jp/english/kaigai_shiryu/IWA_workshop_6th_2-5.pdf) Letöltés időpontja: 2021. június 2.

Matassa, S., D.J. Batstone, T. Hülsen, J. Schnoor, W. Verstraete, (2015). Can direct conversion of used nitrogen to new feed and protein help feed the world? Environ. Sci. Technol. 2015, 49, 5247–5254.

Mauchauffee S., M.P. Denieul, M. Coste (2012). Industrial wastewater re-use: closure of water cycle in the main water consuming industries—the example of paper mills. Environ Technol 33(19):2257–2262.

*MED Joint Process* (2006). WFD /EUWI Water scarcity drafting group document: Water scarcity management in the context of WFG. SCG agenda point 8b WGB/15160506/25d. June 2006.

*More, T.T., J.S.S. Yadav, S. Yan, R.D. Tyagi*, (2014): Surampalli, R.Y. Extracellular polymeric substances of bacteria and their potential environmental applications. *J. Environ. Manag.* 2014, 144, 1–25.

*Morgan-Sagastume, F., F. Valentino, M. Hjort, D. Cirne, L. Karabegovic, F. Gerardin, P. Johansson, A. Karlsson, P. Magnusson, T. Alexandersson* (2014). Polyhydroxyalkanoate (PHA) production from sludge and municipal wastewater treatment. *Water Sci. Technol. A J. Int. Assoc. Water Pollut. Res.* 2014, 69, 177–184.

*Mulchandani, A., P. Westerho* (2016). Recovery opportunities for metals and energy from sewage sludges. *Bioresour. Technol.* 2016, 215, 215–226.

*Nabarlatz, D., J. Vondrysova, P. Jenicek, F. Stüber, J. Font, A. Fortuny, A. Fabregat, C. Bengoa* (2010). Hydrolytic enzymes in activated sludge: Extraction of protease and lipase by stirring and ultrasonication. *Ultrason. Sonochem.*, 17, 923–931.

*Olkiewicz, M.; N.V. Plechkova, M.J. Earle, A. Fabregat, F. Stüber, A. Fortuny, J. Font, C. Bengoa, J.F. Capafons* (2016). Biodiesel production from sewage sludge lipids catalysed by Brønsted acidic ionic liquids. *Appl. Catal. B Environ.* 2016, 181, 738–746.

*Olsson, G.* (2015). *Water and Energy: Threats and Opportunities.* IWA Publishing, London. <https://doi.org/10.2166/9781780406947>.

*OVF* (2014). Szennyvíziszap kezelési és hasznosítási stratégia 2014–2023. [http://biopsol.hu/files/file/Szennyviziszap\\_kezelesi\\_es\\_hasznositasi\\_strategia\\_2018\\_2023.pdf](http://biopsol.hu/files/file/Szennyviziszap_kezelesi_es_hasznositasi_strategia_2018_2023.pdf) Letöltés időpontja: 2021. június 10.

*Pilli, S., P. Bhunia, S. Yan, R.J. LeBlanc, R.D. Tyagi, R.Y. Surampalli* (2011). Ultrasonic pretreatment of sludge: A review. *Ultrason. Sonochem.* 18, 1–18.

*Rezaee, F., S. Danesh, M. Tavakkolizadeh, M. Mohammedi-Khatami*, (2019). Investigating chemical, physical and mechanical properties of eco-cement produced using dry sewage sludge and traditional raw materials. *J. Clean. Prod.* 2019, 214, 749–757.

*Román P.* (2012). Szennyvíziszap hasznosítása. Internet publikáció. Letöltés időpontja: 2021. június 1. <https://www.bitesz.hu/wp-content/uploads/2017/05/Rom%C3%A1n-P%C3%A1l-Szennyv%C3%ADziszap-hasznos%C3%ADt%C3%A1sa.pdf>

*Román P.* (2016). Hulladékhasznosítás az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen. Internet publikáció. <https://docplayer.hu/107609173-Hulladekhasznositas-az-eszak-pesti-szennyvizisztito-telepen-roman-pal-fovarosi-csatornazasi-muvek-zrt.html> Letöltés időpontja: 2021. június 4.

*Ruffino, B., G. Campo, G. Genon, E. Lorenzi, D. Novarino, G. Scibilia, M. Zanetti* (2015). Improvement of anaerobic digestion of sewage sludge in a wastewater

treatment plant by means of mechanical and thermal pretreatments: Performance, energy and economical assessment. *Bioresour. Technol.*, 175, 298–308.

*Ruiken, C.J., G.E. Breuer, E. Klaversma, T. Santiago, M.C.M. van Loosdrecht* (2013). Sieving wastewater – Cellulose recovery, economic and energy evaluation. *Water Research.* Volume 47, Issue 1, 1 January 2013, Pages 43–48.

*Sanivation* (2021). <https://sanivation.com/naivasha> Letöltés időpontja: 2021. május 20.

*Sari, M.A., M. Badruzzaman, C. Cherchi, M. Swindle, N. Ajami, J.G. Jacangelo* (2018). Recent innovations and trends in in-conduit hydropower technologies and their applications in water distribution systems. *J. Environ. Manag.* 2018, 228, 416–428

*Shen, C., Z. Lei, G. Lv, L. Ni, S. Deng* (2019). An experimental investigation on a novel WWSHP system with the heat recovery through the evaporation of wastewater using circulating air as a medium. *Energy Build.* 2019, 191, 117–126.

*Smith, K. M., G. D. Fowler, S. Pullket, N. J. D. Graham* (2009). Sewage sludge-based adsorbents: A review of their production, properties and use in water treatment applications. *Water Res.* 2009, 43, 2569–2594.

*Smol, M., C. Adam, M. Preisner* (2020). Circular economy model framework in the European water and wastewater sector *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2020, 22:682–697 <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00960-z>

*Staher, W.R., E. MacArthur* (2019). *The circular Economy. A User's Guide.* <https://doi.org/10.4324/9780429259203>.

*Stanchev, P., V. Vasilaki, J. Dosta, E. Katsou*, (2017). Measuring the circular economy of water sector in the three-fold linkage of water, energy and materials. [http://uest.ntua.gr/athens2017/proceedings/pdfs/Athens2017\\_Stanchev\\_Vasilaki\\_Mousavi\\_Dosta\\_Katsou.pdf](http://uest.ntua.gr/athens2017/proceedings/pdfs/Athens2017_Stanchev_Vasilaki_Mousavi_Dosta_Katsou.pdf)

*Takabatake, H., H. Satoh, T. Mino, T. Matsuo* (2000). Recovery of biodegradable plastics from activated sludge process. *Water Sci. Technol.* 2000, 42, 351–356.

*Tamis J., M. Mulders, H. Dijkman R. Rozendal* (2018). Pilot-scale polyhydroxyalkanoate production from paper mill wastewater: process characteristics and identification of bottlenecks for full-scale implementation. *Journal of Environmental Engineering.* Volume 144 Issue 10 - October 2018.

*Tang, J., J. He, T. Liu, X. Xin, H. Hu* (2017). Removal of heavy metal from sludge by the combined application of a biodegradable biosurfactant and complexing agent in enhanced electrokinetic treatment. *Chemosphere* 2017, 189, 599–608.

*Tang, J., C. Zhang, X. Shi, J. Sun, J.A. Cunningham* (2019). Municipal wastewater treatment plants coupled with electrochemical, biological and bio-electrochemical technologies: Opportunities and challenge toward energy self-sufficiency. *J. Environ. Manag.* 2019, 234, 396–403.

*Tilmans, Sebastien*, igazgató, Codiga Resource Recovery Center, Stanford University (szóbeli közlés). *Brave Blue World* dokumentumfilm

<https://www.braveblue.world/> Brave Blue World Foundation

UNESCO (2017). *UN World Water Development Report, Wastewater: The Untapped Resource*. Paris: Water Assessment Programme (WWAP), UN Educational, Scientific and Cultural Organization. Available online at: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/>

UN-SDG (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for sustainable development*. New York: United Nations 2015 (UN 2015)

Vácz L. (2017). Az elfolyó tisztított szennyvíz helyzeti energiájának turbinás hasznosítása, az iszapkezelés, biogáz hasznosítás, valamint a mellékáramú nitrogéneltávolítás létesítményei a csepeli (BKSZT) szennyvíztisztító telepen. Előadás, a „Maszesz - Szennyvíz és szennyvíziszap energiatartalmának jobb kihasználását lehetővé tevő eljárások” szakmai napon. 2017. június 22.

Valls, S., E. Vázquez, (2000). Stabilisation and solidification of sewage sludges with Portland cement. *Cem. Concr. Res.* 2000, 30, 1671–1678.

van der Hoek, J.P., H. de Fooij, A. Strukera (2016). Wastewater as a resource: Strategies to recover resources from Amsterdam's wastewater. *Resources, Conservation and Recycling* 113 (2016) 53–64.

Veeken, A.H.M., H.V.M. Hamelers (1999). Removal of heavy metals from sewage sludge by extraction with organic acids. *Water Sci. Technol.* 1999, 40, 129–136.

Wang X.C., G. Fu (eds.) (2021). *Water-Wise Cities and Sustainable Water Systems: Concepts, Technologies, and*

*Applications*. IWA Publishing. ISBN: 9781789060768 (eBook)

WasteReuse Foundation (2007): *Reclaimed water aquifer storage and recovery*. ISBN:978-1-934183-3-08

Xu, W., J. Xu, J. Liu, H. Li, B. Cao, X. Huang, G. Li (2014). The utilization of lime-dried sludge as resource for producing cement. *J. Clean. Prod.* 2014, 83, 286–293.

Yesil, H., A.E. Tugtas (2018). Removal of heavy metals from leaching effluents of sewage sludge via supported liquid membranes. *Sci. Total Environ.* 2019, 693, 133608.

Veolia (2014): *Water at the heart of the Circular Economy*. Internet publikáció.

<https://www.veolia.com/sites/g/files/dvc4206/files/document/2014/12/economy-circular-water.pdf> Letöltve: 2021. július 12.

Zavarkó M., Csedő Z. (2021). Körkörös gazdaságfejlesztési és dekarbonizációs lehetőségek a power-to-gas technológia magyar szennyvíztisztító telepeken való alkalmazásával. *Hidrológiai Közlöny*, 101. évf. 3. szám.

Zhai, Y., X.X. Wei, G.M. Zeng (2004). Effect of pyrolysis temperature and hold time on the characteristic parameters of adsorbent derived from sewage sludge. *J. Environ. Sci.* 2004, 16, 683–686.

Zhang, L., Z. Zhu, R. Zhang, C. Zheng, H. Zhang, Y. Qiu, J. Zhao (2008). Extraction of copper from sewage sludge using biodegradable chelant EDDS. *J. Environ. Sci.* 2008, 20, 970–974.

Zhang, R., F. Zhu, Y. Dong, X. Wu, Y. Sun, D. Zhang, T. Zhang, M. Han (2020). Function promotion of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SnO<sub>2</sub> catalyst for biodiesel production from sewage sludge. *Renew. Energy* 2020, 147, 275–283.

## A SZERZŐ



**MELICZ ZOLTÁN** PhD, okleveles építőmérnök, víz- és szennyvíztechnológiai szakértő, korábbi egyetemi oktató (BME, 1998-2010), főiskolai tanár (Eötvös József Főiskola, 2010-2017), a VTK Innosystem Kft. korábbi tanácsadója, majd ügyvezetője. Jelenleg a KaveczkiTerv Kft. tudományos tanácsadója.

## Körkörös gazdaságfejlesztési és dekarbonizációs lehetőségek a power-to-gas technológia magyar szennyvíztisztító telepeken való alkalmazásával

Zavarkó Máté\*,\*\*, Csedő Zoltán\*,\*\*

\* Budapesti Corvinus Egyetem, Vezetéstudományi Intézet, Vezetés és Szervezés Tanszék, 1093 Budapest, Fővám tér 8.  
(E-mail: mate.zavarko@uni-corvinus.hu; zoltan.csedo@uni-corvinus.hu)

\*\* Power-to-Gas Hungary Kft., 5000 Szolnok, Baross utca 36.

### Kivonat

Az innovatív power-to-gas (P2G) technológia várhatóan a jövő energiaszektorának meghatározó megoldása lesz, mivel képes a többlet villamos energiát metánná alakítva a megújuló energiaforrások nagyobb fokú integrációjának elősegítésére, a szén-dioxid újrahasznosítására, illetve a technológia által lehetségessé válhat nagy mennyiségben is a hatékony, szezonális energiatárolás. A tanulmány arra kereste a választ, hogy ezen előnyök mentén a P2G technológia miként hasznosítható a körforgásos gazdaságfejlesztés és dekarbonizáció érdekében a szennyvíztisztító telepeken. A szakirodalom és az empirikus kutatások alapján a nagyobb hazai szennyvíztisztító telepeknél történő P2G üzemeltetés a szén-dioxid kibocsátás csökkentése, a melléktermékek újrahasznosítása, illetve a villamos energia és gázszektorok összekapcsolása miatt is kifejezetten előnyös lehet.

### Kulcsszavak

Power-to-gas, körkörös gazdaság, dekarbonizáció, szennyvíztisztító telepek.

## Circular economy development and decarbonization opportunities by power-to-gas technology implementation at wastewater treatment plants

### Abstract

Innovative power-to-gas (P2G) technology is expected to have a significant impact on the future energy sector, as it is capable to facilitate the integration of renewable energy sources (by converting surplus electricity into methane), to reuse carbon-dioxide, and to provide efficient, seasonal energy storage in large scale. Considering these benefits, this study was aimed to answer how P2G technology can be utilized for circular economy development and decarbonization at wastewater treatment plants. Based on the literature and empirical research, P2G implementation at larger Hungarian wastewater treatment plants would be beneficial due to the reduction of CO<sub>2</sub> emission, the reuse of byproducts, and the sector coupling, as well.

### Keywords

Power-to-gas, circular economy, decarbonization, wastewater treatment plants.

### BEVEZETÉS

Az Európai Unió klímasegítségstratégiája és a Nemzeti Energiastratégia 2030 által kijelölt célok alapján is az látható, hogy az átalakuló energiarendszerben a megújuló energiaforrások minél nagyobb mértékű integrációja és a hatékony energiatárolás rövid- és hosszú távon is az egyik legfontosabb kihívás (Ahmed és társai 2021, Pintér és társai 2020, Berényi és társai 2020, Lund és társai 2016, Európai Bizottság 2020). Ezen a területen a power-to-gas (P2G) technológia, mellyel a többlet villamos energia metánná alakítható, várhatóan már a közeljövő energiaszektorának meghatározó megoldása lesz. Ennek oka, hogy a megújuló villamos energiából történő hidrogénelőállítás és metánelőállítás flexibilitást (Pintér 2020) és hatékony, akár szezonális energiatárolási lehetőséget tudna biztosítani az energiaszektor számára (Csedő és társai 2020, Kummer és Imre 2021). A metanizációs P2G technológiák további különlegessége, hogy szén-dioxid-újrahasznosításra kerül sor a folyamatban, mely így dekarbonizációs hatást jelent, illetve a nagy tárolókapacitásokkal rendelkező földgázrendszert használva valósulhat meg a hosszú távú energiatárolás (Csedő és Zavarkó 2020). Ezen előnyöket figyelembe véve, jelen tanulmány keretében arra a kérdésre keressük a választ, hogy a P2G technológia miként hasznosítható a körforgásos gazdaságfejlesztés és dekarbonizáció érdekében a szennyvíztisztító telepeken.

A kutatási kérdés megválaszolása a nemzetközi szakirodalom több ágának feldolgozására és saját empirikus akciókutatásra épül, amelyeket a szerzők a Power-to-Gas Hungary Kft.-nél végeznek több mint 4 éve. A Power-to-Gas Hungary Kft. egy 2016-ban alapított startup vállalat, amely egy innovatív biometanizációs prototípust fejlesztett és üzemeltet 2018 óta, illetve jelenleg is kereskedelmi méretű P2G üzemek tervezésével, és kapcsolódó ipari K+F+I tevékenységekkel foglalkozik a Közép- és Kelet-Európai régióban.

### ANYAG ÉS MÓDSZER

#### Technológiai háttér

*A power-to-gas technológia helye a power-to-X koncepcióban*

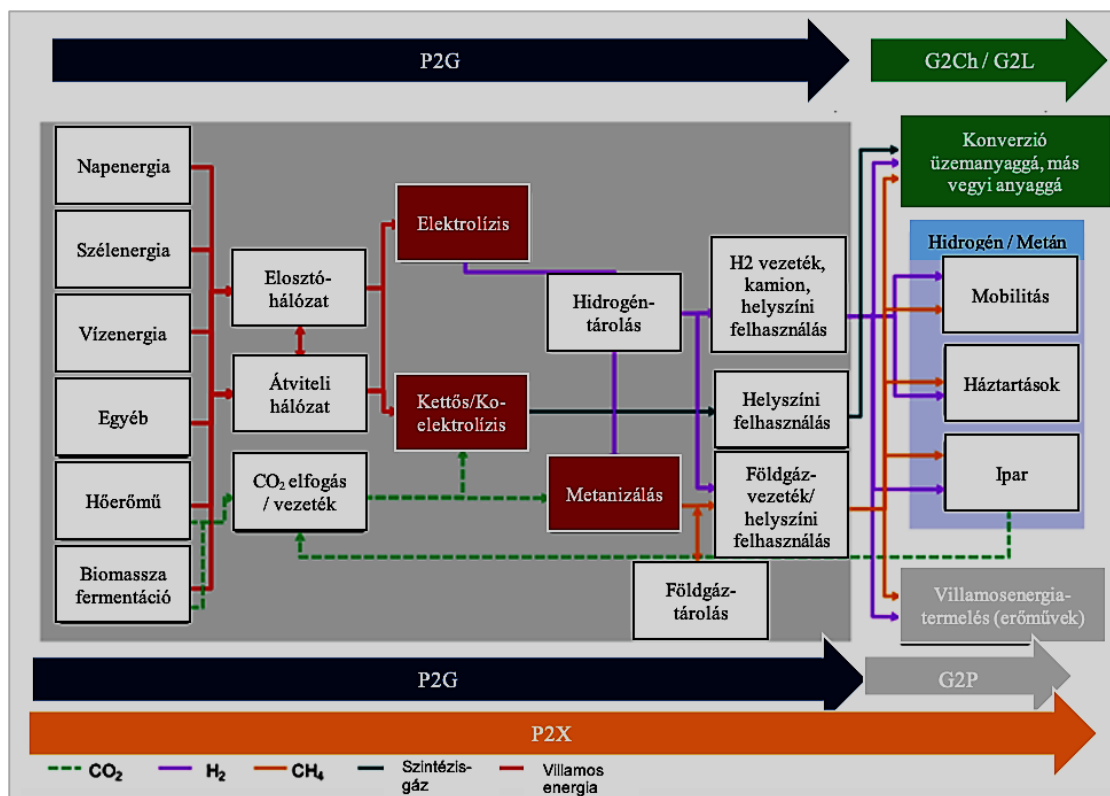
A power-to-X (P2X) koncepció mindenekelőtt a többlet villamos energia kémiai úton történő konverziójával jellemezhető, és célja valamilyen egyéb energiahordozó előállítás. A koncepció arra a kihívásra válaszol jelent meg, hogy a hosszú távú és nagy volumenű energiatárolás más módon, például akkumulátorokkal kevésbé hatékony (Buffo és társai 2019). A P2X technológiák fő funkciói:

- 1) Energiatárolás, amely az ingadozó megújuló energiatermelés miatt releváns;

- 2) Karbonsemleges energiahordozók és üzemanyagok előállítása;
- 3) A fentiekből következően a CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkentése, dekarbonizáció. (Vázquez és társai 2018)

A P2X folyamatlánc első lépése a P2G folyamat, amelyet a gas-to-chemicals (G2Ch), a gas-to-liquid (G2L, vagy a teljes folyamatot tekintve P2L), illetve gas-to-power (G2P, vagy a teljes folyamatot tekintve

P2G2P) folyamat követhet (Wulf és társai 2018). A P2G és a P2L esetében is az első lépés az elektrolízis, mely során a megújuló villamos energia és a víz reakciója zöld hidrogén előállítását teszi lehetővé. Ez az ún. power-to-hydrogen (P2H) folyamat. A P2G szegmensben maradvra ezt a metanizáció követheti (power-to-methane, P2M), míg a P2L szegmensben folyékony szénhidrogének állíthatók elő hidrogénből (pl. dízel, ke-rozin). Az 1. ábra a P2X koncepció folyamatait mutatja.



1. ábra. P2X folyamatok (Forrás: Wulf és társai 2018)  
Figure 1. P2X processes (Source: Wulf és társai 2018)

#### A P2G technológia alapvető jellemzői

Jelen tanulmány a P2G folyamatra fókuszál (2. ábra), melynek hasznosítási lehetőségeit is figyelembe vevő leírása a következő:

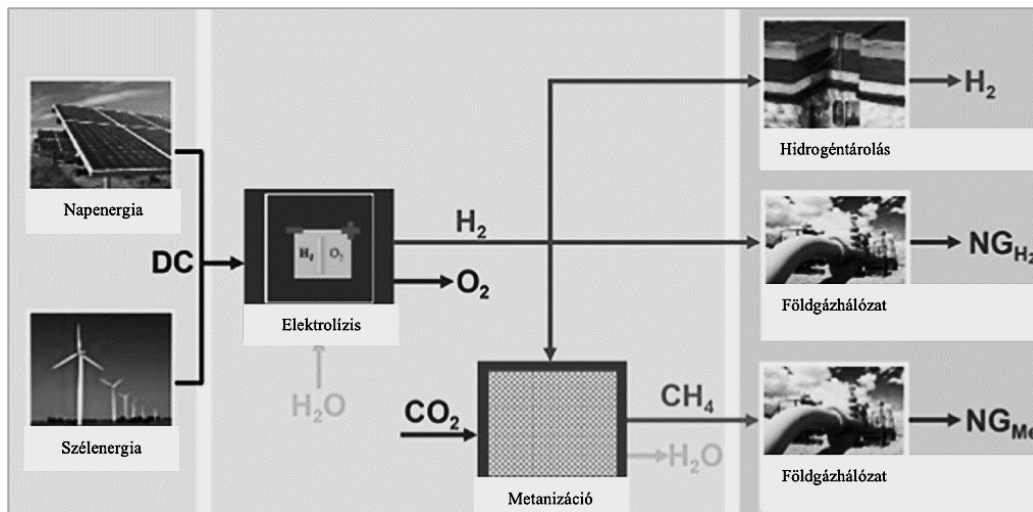
- a) A többlet megújuló villamos energia elektrolízishez kerül felhasználásra, és a vízbontás eredményeként hidrogén és oxigén keletkezik. Az elektrolízis képlete:  $4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + 2\text{O}_2 + \text{H}_2$ .
- b) Az oxigén az elektrolízis mellékterméke, a hidrogén pedig tárolható és felhasználható például üzemanyagként; korlátozott mértékben, a határértékek szerint a földgázrendszerbe injektálható; vagy felhasználható a metanizációs folyamatban, metán előállítására.
- c) A metán előállításához a hidrogén mellett szén-dioxidra is szükség van. A metanizáció képlete:  $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ .
- d) A metanizációs folyamat mellékterméke víz, a metán pedig, mint a földgáz legfőbb összetevője, a földgázhálózatba injektálható. Amennyiben a villamos energia és/vagy a szén-dioxid megújuló forrásból származik (például biogázból, melynek például

kb. 55%-a metán, 45%-a szén-dioxid lehet), úgy a végtermék esetében biometánról beszélhetünk (Ferry 1998, Fontaine és társai 2017, Schiebahn és társai 2015, Sinóros-Szabó és társai 2018).

Az elektrolízis és a metanizáció tekintetében is különböző technológiákról beszélhetünk. Előbbi esetében az alkáli és a polimer elektrolit membrános (PEM) elektrolízis technológiák már jól ismertek és kereskedelmi léptékben is hasznosításra kerültek, míg a szilárd-oxid (magas hőmérsékletű) elektrolízis még fejlesztés alatt áll (Fontaine és társai 2017, Buttler és Spliethoff 2018). A metanizáció esetében a kémiai (katalitikus) folyamat magas hőmérsékleten és nyomáson, a biológiai folyamat pedig mikroorganizmusok segítségével alacsonyabb hőmérsékleten és nyomáson megy végbe, és mindkét megoldást már ipari léptékben is hasznosították (Bailera és társai 2017, Frontera és társai 2017). A szakirodalomban biológiai metanizációként utalnak arra is, amikor a biogáz-feljavítás során nem szén-dioxid leválasztás, hanem hidrogén-betáplálás történik (Agneessens és társai 2017), illetve egy negyedik, még szintén fejlesztés alatt álló technológia során elektro-aktív mikroorganizmusokkal történik a metanizáció alacsony, 25-35 °C-os hőmérsékleten (Ceballos-Escalera és társai 2020).

A Power-to-Gas Hungary Kft. prototípusa PEM elektrolízist és biológiai metanizációt alkalmaz, melyek kiemelkedő rugalmassággal képesek alkalmazkodni az ingadozó

megújuló energiatermeléshez, illetve egy speciális, szabadalmaztatott mikroorganizmust használva 97%-nál is magasabb  $\text{CO}_2$  konverzió érhető el.



2. ábra. A P2G folyamat (Forrás: Schiebahn és társai 2015)

Figure 2. P2G process (Source: Schiebahn et al. 2015)

## EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A következőkben a nemzetközi szakirodalom fontosabb megállapításai és saját empirikus kutatási eredmények olvashatók.

### A power-to-gas és a szennyvíztisztító telepek szerepe az átalakuló energiaszektorban

Az energiátárolással foglalkozó szakirodalom részletesen tárgyalja a P2G technológiákban rejlő lehetőségeket az átalakulóban lévő energiaszektorra nézve (Zoss és társai 2016, Zhang és társai 2017, Varone és Ferrari 2015, Vandewalle és társai 2015), illetve ennek a különböző technológiai kutatás-fejlesztési aspektusait (Luo és társai 2018, Wang és társai 2018, Bacariza és társai 2018, Inkeri és társai 2018). A P2G szakirodalomban, különösen a P2M szakirodalomban fellelhető kutatások alapján a szennyvíztisztító üzemek lényeges szerepet játszhatnak a P2G technológia felskálázásában. A nagyobb szennyvíztisztító telepek, amelyek biogázt is előállítanak, biztosítani tudják a biometán előállításához szükséges legfontosabb inputtényezőt, vagyis a hatékonyan felhasználható széndioxid forrást (Bailera és társai 2017).

A P2G technológia energiaszektorban játszott ígéretes szerepét az utóbbi években végzett kutatások több oldalról is alátámasztották (pl. a hosszú távú energiátárolás (Blanco és Faaij 2018), rendszerelemzési (Schiebahn és társai 2015) vagy egyéb műszaki és gazdasági tényezők szempontjából (Götz és társai 2016), emellett viszont a szennyvíztisztító üzemek szerepét is egyre több kutatás vizsgálja, tekintettel a megújuló energiákra való áttérés és a P2X technológiák különböző aspektusaira is:

1. Schäfer és társai (2020) rámutattak arra, hogy a szennyvíztisztító üzemek figyelemreméltó szinergiapotenciállal rendelkeznek különböző szektorok összekapcsolását illetően, például a hidrogén és metán (P2G technológiák által megvalósuló) előál-

lítása közben, ráadásul az elektrolízis melléktermékeként keletkező oxigén felhasználható a szennyvíztisztítási folyamatok során.

2. Gretzschel és társai (2020) kutatása a P2H technológiára, valamint a szerves mikroszennyezők szennyvíztisztító üzemekben történő eltávolítására fókuszált, figyelembe véve egy rendszerszintű szolgáltatás: az automatikus frekvenciahelyreállítási tartalék (automatic frequency restoration reserve – aFRR) nyújtásának a lehetőségét is, ami rövid távú rugalmasságot tud biztosítani a rendszerüzemeltetők számára.
3. Ceballos-Escalera és társai (2020) egy bioelektrokémiai elektrometanogenezis rendszerrel (EMG-BES) működő prototípus energiátárolási tulajdonságait vizsgálták egy szennyvíztisztító üzemnél, ami egy új, még fejlesztés alatt álló technológia a P2M szegmensen belül a kémiai és a biológiai metanizáció mellett. Az említett kutatásban ezen kívül bemutatásra került a megújuló energia túlermelés, a biometán előállítás és a szennyvízkezelés összekapcsolásának potenciálja is (Csedő és társai 2020).

### A P2G és a körforgásos gazdaság kapcsolata

A nemzetközi szakirodalmi áttekintés alapján a P2G és a körforgásos gazdaság kapcsolatának vizsgálata eddig nem kapott széles körű figyelmet. Az eddigi, körforgásos gazdasághoz köthető szakirodalmi megállapítások közül a következők emelhetők ki:

1. Baena-Moreno és társai (2020) rámutattak, hogy biológiai folyamatok (például biogáz-termelés) és a megújuló energiatermelés kombinációja a körkörös gazdaság irányába történő paradigmaváltás fontos pillére lehet az energiaszektorban, azonban ehhez a megújuló energiaforrásokra történő áttérést lehetővé tévő támogatási rendszerek és költségesökkenést eredményező fejlesztések szükségesek.

2. *Wall és társai (2017)* azt hangsúlyozták, hogy a közelmúltbeli uniós jogszabályok a fejlett, harmadik generációs bioüzemanyagok előállítását és felhasználását ösztönzik, így javítják a jövőbeni energiarendszerek fenntarthatóságát. A szerzők azzal is foglalkoznak, hogy az olyan technológiák integrálása, mint a P2G, illetve az újabb alapanyagok, mint például az algák hasznosítása komoly előrelépést jelenthet a jövőbeni fenntarthatósági kritériumok teljesítéséhez és a zöld gázellátásának biztosításához.
3. *Eggemann és társai (2020)* a P2G-t egy lépéssel kiterjesztő power-to-fuel (P2F) folyamattal foglalkoztak, és nem a metán, hanem a metanol előállítását vizsgálták, de szintén hidrogént és a biogáz szén-dioxid tartalmát felhasználva. Tanulmányuk szerint – a rendszer életciklus elemzésének bizonytalanságai ellenére is – egy ilyen rendszer hozzájárulhat a körkörös gazdaság fejlesztéséhez, ha a fosszilis alternatívákhoz képest gazdaságilag is kedvező a rendszer teljesítménye.
4. *Belocchi és társai (2019)* tanulmányának fókuszja a többlet megújuló energiaforrások vizsgálata volt, és az, hogy ez az energia pozitív módon hasznosítható-e. Vizsgálatukhoz Olaszországot választották, mivel az ország alkalmas nagy mennyiségű megújuló energiaforrás telepítésére, valamint a P2X technológiák alkalmazására. A tanulmány ezen belül a közlekedési szektort vette a P2X rendszerek termékeinek fő felvevő piacának. A tanulmány eredményeként megállapították, hogy a P2G és a P2L rendszerek alkalmazása összességében majdnem 30%-os szén-dioxid kibocsátás csökkentést eredményeznek, valamint a P2X technológia segítségével az olyan közlekedési ágazatok, amelyekben az elektromos akkumulátorok kapacitása nem elegendő – mint a fuvarozás –, a megtermelt hidrogénnel alacsonyabb környezetterheléssel működhetnek.
5. *Oosterkamp (2018)* rámutatott, hogy energiarendszerben bekövetkezett változásoknak számos környezeti hatása lehet, például befolyásolhatja az energiarendszerhez szükséges vízhasználatot és a környezeti szennyezés mértékét. Kifejtette továbbá, hogy az energiarendszerek rendkívül összetett működési hálózatok, ezért a környezeti hatásait változását felmérni igen nehéz; azonban összességében a P2G technológia alkalmazása jobban kíméli a jövőben a környezetet, mint a mai, meglévő energiarendszerek. A P2G rendszerek implementációjával a károsanyagkibocsátás csökkenthető, ezáltal a környezeti hatásaik pozitívak. A legkiemelkedőbb pozitívum a klímaváltozást érintő aspektus, amelyben a P2G jelentősen javítja az emberiség kilátásait.

### Saját empirikus kutatások

*A hazai szennyvíztisztító telepek P2G szempontú elemzésének tapasztalatai*

A szerzők hazai és nemzetközi folyóiratokban megjelent korábbi publikációi a P2G kereskedelmi méretű implementációjának műszaki, gazdasági és innovációme-

nedzsment aspektusaival is foglalkoztak (pl.: *Csedő és Zavarkó 2020, Csedő és társai 2020, Pörzse és társai 2021*). Jelen tanulmány szempontjából legfontosabb következtetések az alábbiak:

1. A biogáz üzemeknél a metanizációhoz hatékonyan felhasználható szén-dioxid forrás található.
2. A hazai nagyobb szennyvíztisztító telepekhez átlagosan 1 MW<sub>el</sub> P2G üzem lenne telepíthető, amely megfelel a technológia jelenlegi fejlettségi szintjének.
3. A vizsgált szennyvíztisztító telepek többsége biztosítani tudja az elektrolízishez szükséges input tényezőket, például villamos energiát, vizet (előkezelés szükséges lehet), biogázt (szén-dioxidot).
4. Az oxigén melléktermék hasznosítható a szennyvíztisztítás során a hatékonyság növelésére.
5. Az elektrolízis és a metanizáció hulladékhője esetenként hasznosítható lehet a telephelyen.
6. Alapvető felsővezetői nyitottság tapasztalható a hazai szennyvíztisztító telepek esetében az innovatív biometanizációs technológia befogadására.

### *Nemzetközi P2M projektek szennyvíztisztító telepeknél*

A fentiekben túl megállapításra került, hogy Európa több országában is van már példa arra, hogy metánt előállító P2G üzemeket telepítettek vagy terveznek telepíteni egy szennyvíztisztító telephez. Ezeket mutatja az 1. táblázat.

1. táblázat. Európai P2G üzemek szennyvíztisztító telepeknél (saját szerkesztés)  
Table 1. European P2G plants at wastewater treatment plants (own editing)

Projekt neve	Ország	Város
BIOGASBOOSTER	Németország	Straubing
Renovagas	Spanyolország	Jerez de la Frontera
STORE&GO	Svájc	Solothurn
Cosyma	Svájc	Zürich
MicrobEnergy GmbH Plant	Svájc	Dietikon
Mikrobielle Methanisierung	Németország	Schwandorf
INFINITY 1	Németország	Pfaffenhofen
P2G-BioCat project	Dánia	Avedøre

### ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány arra kereste a választ, hogy a P2G technológia miként hasznosítható a körforgásos gazdaságfejlesztés és dekarbonizáció érdekében a szennyvíztisztító telepeken. A tanulmány fő következtetései a következők:

- a) A szennyvíztisztító telepek meghatározó szerepet tölthetnek be a villamos energia és gázszektorok összekapcsolásában a P2G technológia implementációjával.
- b) Az elektrolízissel (P2H) elősegíthető a megújuló energiaforrások nagyobb léptékű integrációja, illetve az oxigén melléktermék is hasznosítható a tisztítási folyamatban.
- c) A metanizációval (P2M) dekarbonizációs hatás érhető el, és lehetővé válik a szezonális energiatárolás, amennyiben biztosítható a csatlakozás a földgázhálózathoz.





- Santarelli, A. Lanzini, D. Ferrero (szerk.): Solar Hydrogen Production. Academic Press, 529-557. ISBN 9780128148532, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814853-2.00015-1>.
- Buttler, A., H. Spliethoff (2018). Current status of water electrolysis for energy storage, grid balancing and sector coupling via power-to-gas and power-to-liquids: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82 (3), 440-2454. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.003>.
- Ceballos-Escalera, A., D. Molognoni, P. Bosch-Jimenez, M. Shahparasti, S. Bouchakour, A. Luna, A. Guisasola, E. Borràs, M. Della Pirriera (2020). Bioelectrochemical systems for energy storage: A scaled-up power-to-gas approach. *Applied Energy*, 260, 114138. <https://doi.org/10.1016/j.apener.2020.114138>.
- Csedő Z., Zavarkó M. (2020). The role of inter-organizational innovation networks as change drivers in commercialization of disruptive technologies: the case of power-to-gas. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* 28, 53-70. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2020.114138>.
- Csedő Z., Sinóros-Szabó B., Zavarkó M. (2020). Seasonal Energy Storage Potential Assessment of WWTPs with Power-to-Methane Technology. *Energies*, 13 (18), 4973. <https://doi.org/10.3390/en13184973>.
- Eggemann, L., N. Escobar, R. Peters, P. Burauel, D. Stolten (2020). Life cycle assessment of a small-scale methanol production system: A Power-to-Fuel strategy for biogas plants. *Journal of Cleaner Production* 271, 122476. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122476>.
- Európai Bizottság (2020). Study on energy storage – Contribution to the security of the electricity supply in Europe, Brüsszel: 2020. március.
- Ferry, J. G. (1998). Enzymology of one-carbon metabolism in methanogenic pathways. *FEMS Microbiology* 23, 13-38. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1999.tb00390.x>.
- Fontaine, F., P. Grima, M. Hoerl, L. Mets, M. Forstmeier, D. Hafenbradl (2017). Power-to-Gas by Biomethanation – From Laboratory to Megawatt Scale. *Comm. Appl. Biol. Sci.* Ghent University, 82/4, 183-187.
- Frontera, P., A. Macario, M. Ferraro, P. Antonucci (2017). Supported Catalysts for CO<sub>2</sub> Methanation: A Review. *Catalysts*, 7, 59. <https://doi.org/10.3390/catal7020059>.
- Götz, M., J. Lefebvre, F. Mörs, A. McDaniel Koch, F. Graf, S. Bajohr, R. Reimert, T. Kolb (2016). Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review. *Renewable Energy*, 85, 1371-1390. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.066>.
- Gretzschel, O., M. Schäfer, H. Steinmetz, E. Pick, K. Kanitz, S. Krieger (2020). Advanced Wastewater Treatment to Eliminate Organic Micropollutants in Wastewater Treatment Plants in Combination with Energy-Efficient Electrolysis at WWTP Mainz. *Energies*, 13 (14), 3599. <https://doi.org/10.3390/en13143599>.
- Inkeri, E., T. Tynjälä, A. Laari, T. Hyppänen (2018). Dynamic one-dimensional model for biological methanation in a stirred tank reactor. *Applied Energy* 209, 95-107. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.073>
- Kummer K., Imre A. R. (2021). Seasonal and Multi-Seasonal Energy Storage by Power-to-Methane Technology. *Energies* 2021, 14, 3265. <https://doi.org/10.3390/en14113265>
- Kirchherr, J., D. Reike, M. Hekkert (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling* Volume, 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- Lewin, K. (1946). Action research and minority problems. *Journal of Social Issues* 2 (4), 34-46. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1946.tb02295.x>.
- Lund, H., P. A. Østergaard, D. Connolly, I. Ridjan, B. V. Mathiesen, F. Hvelplund, J. Z. Thellufsen, P. Sorknæs (2016). Energy Storage and Smart Energy Systems. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 11, 3-14. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2016.11.21>.
- Luo, Y., Y. Shi, W. Li, N. Cai (2018). Synchronous enhancement of H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> co-electrolysis and methanation for efficient one-step power-to-methane. *Energy Conversion and Management*, 165, 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.028>
- McNiff, J. (2013). Action Research - Principles and practice. London: Routledge.
- Oosterkamp, P. (2018). Full CBA Analysis of Power-to-Gas in the context of various reference scenarios. STORE&GO Project.
- Østergaard, A., C. Maestosi (2019). Tools, technologies and systems integration for the Smart and Sustainable Cities to come. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 24, 01-06. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.3405>.
- Pintér G., Zsiborács H., Hegedűsné Baranyai N., Vincze A., Birkner Z (2020). The Economic and Geographical Aspects of the Status of Small-Scale Photovoltaic Systems in Hungary—A Case Study. *Energies*, 13, 3489. <https://doi.org/10.3390/en13133489>.
- Pintér G. (2020). The Potential Role of Power-to-Gas Technology Connected to Photovoltaic Power Plants in the Visegrad Countries—A Case Study. *Energies*, 13 (23), 6408. <https://doi.org/10.3390/en13236408>.
- Pörzse G., Csedő Z., Zavarkó M. (2021). Disruption Potential Assessment of the Power-to-Methane Technology. *Energies*, 14 (8), 2297. <https://doi.org/10.3390/en14082297>.
- Reason (2001). Handbook of action research: participative inquiry and practice. London: SAGE.
- Schäfer, M., O. Gretzschel, H. Steinmetz (2020). The Possible Roles of Wastewater Treatment Plants in Sector Coupling. *Energies*, 13 (8), 2088. <https://doi.org/10.3390/en13082088>.
- Schiebahn, S., T. Grube, M. Robinius, V. Tietze, B. Kumar, D. Stolten (2015). Power to gas: Technological overview, systems analysis and economic assessment for a case study in Germany. *International Journal of Hydrogen*

Energy, 40, 4285-4294.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.01.123>

*Singh, V. K., C. O. Henriques, A. G. Martins* (2019). A multiobjective optimization approach to support end-use energy efficiency policy design – the case-study of India. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* 23, 55-68.

<http://doi.org/10.5278/ijsepm.2408>.

*Sinóros-Szabó B., Zavarkó M., Popp, F., Grima, P., Csedő Z.* (2018). Biomethane production monitoring and data analysis based on the practical operation experiences of an innovative power-to-gas benchscale prototype. *Journal of Agricultural Sciences*, 150, 399-410. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/150/1736>

*Tricarico, L.* (2018). Community Energy Enterprises in the Distributed Energy Geography. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 18, 81-94. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2018.18.6>.

*Vandewalle, J., K. Bruninx, W. D'haeseleer* (2015). Effects of large-scale power to gas conversion on the power, gas and carbon sectors and their interactions. *Energy Conversion and Management*, 94, 28-39. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.038>.

*Varone, A., M. Ferrari* (2015). Power to liquid and power to gas: An option for the German Energiewende. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.049>.

*Vázquez, F. V., J. Koponen, V. Ruuskanen, C. Bajamundi, A. Kosonen, P. Simell, J. Ahola, C. Frilund, J.*

*Elfving, M. Reinikainen, N. Heikkinen* (2018). Power-to-X technology using renewable electricity and carbon dioxide from ambient air: SOLETAIR proof-of-concept and improved process concept. *Journal of CO2 Utilization* 28, 235-246. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2018.09.026>.

*Wall, D., S. McDonagh, J. D. Murphy* (2017). Cascading biomethane energy systems for sustainable green gas production in a circular economy. *Bioresource technology* 243, 1207-1215.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.115>.

*Wang, L., M. Pérez-Fortes, H. Madi, S. Diethelm, F. Maréchal* (2018). Optimal design of solidoxide electrolyzer based power-to-methane systems: A comprehensive comparison between steam electrolysis and co-electrolysis. *Applied Energy* 211, 1060-1079. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.050>

*Wulf, C., J. Linßen, P. Zapp* (2018). Review of Power-to-Gas Projects in Europe. *Energy Procedia*, 155, 367-378. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.041>.

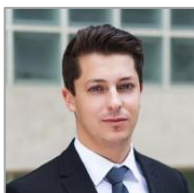
*Zhang, X., C. Bauer, L. C. Mutel, K. Volkart* (2017). Life Cycle Assessment of Power-to-Gas: Approaches, system variations and their environmental implications. *Applied Energy*, 190, 326-338.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.098>.

*Zoss, T., E. Dace, D. Blumberga* (2016). Modeling a power-to-renewable methane system for an assessment of power grid balancing options in the Baltic States' region. *Applied Energy*, 170, 278-285.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.137>.

## A SZERZŐK



**ZAVARKÓ MÁTÉ** a Budapesti Corvinus Egyetem Vezetés és Szervezés Tanszékének doktorandusza, a Power-to-Gas Hungary Kft. üzletfejlesztési igazgatója.



**CSEDŐ ZOLTÁN**, PhD. habil. a Budapesti Corvinus Egyetem Vezetés és Szervezés Tanszékének tanszékvezető egyetemi docense, a Power-to-Gas Hungary Kft. alapítója és ügyvezető igazgatója.

## A szennyvíztelepek karbon lábnyomának csökkentése a rothasztott iszapok szuperkritikus vizes feldolgozásával és a biogáz szén-dioxid tartalmának biometánná alakításával

Hujber Ottó

Coopinter Kft., 1135 Budapest, Lehel u. 61., (E-mail: otto.hujber@kerogoil.com)

### Kivonat

Aktuális probléma és kiváló lehetőség is a rothasztott iszapok hasznosítása. Egyfelől, a mezőgazdasági hasznosítás korlátozott, másfelől a rothasztott iszap jelentős energiataralommal bír, így az iszap „energetikai célú” feldolgozása után egy szennyvíztisztító telep energiatermelése akár megduplázható. A rothasztott iszap szervesanyag tartalmát a szuperkritikus vizes elgázosítás (SCWG) technológiájával magas hidrogéntartalmú gázzá alakítható, és a termelt hidrogén egyéb felhasználások mellett alkalmas például a rothasztók-ból kikerülő biogáz szén-dioxid tartalmának BioCat reaktorban biometánná való alakítására.

Az SCWG csőreaktorából kikerülő zagyából kivonhatóak a foszfor vegyületek, és terméké alakítva, azok műtrágyaként visszajuttathatók a mezőgazdaságba. Az SCWG technológia végén desztillált vizet kapunk, amely felhasználható további technológiai célokra (pl. elektromos vízbontó tápvizeként, kazán tápvízé, motorok hűtővizé stb.) vagy felhasználható a szürke vízhálózatokban is. A rothasztott iszap SCWG technológiával történő feldolgozásának eredményeképpen a maradék inert szilárd anyag elszállításával kapcsolatos szállítási igény a töredékére redukálódik, ezzel is csökkentve a szén-dioxid kibocsátást.

Összegezve: a rothasztott iszap SCWG technológiával történő feldolgozása jelentősen csökkenti a szennyvíztelep szén-dioxid kibocsátását megnövekedett energiatermelés mellett, és egy komoly lépést jelent a körkörös gazdaság felé.

### Kulcsszavak

Körkörös gazdaság, szennyvíziszap, biogáz, SCWG, hidrogén, BioCat Reaktor, biometán, szén-dioxid emisszió, karbon lábnyom, dekarbonizáció.

## Reducing the carbon footprint of wastewater treatment plants by supercritical aqueous treatment of digested sludge and reducing the carbon dioxide content of biogas by conversion to biomethane

### Abstract

The utilization of digested sludges is also a current problem and an excellent option. On the one hand, the agricultural utilization is limited, on the other hand, digested sludge has a significant energy content, if processed, we can double the energy production of the plant. If the organic matter content of the digested sludge is converted to a high hydrogen content gas by supercritical water gasification (SCWG) technology, the hydrogen thus obtained is suitable for converting the carbon dioxide content of the biogas from the digesters to biomethane in a BioCat reactor. Phosphorus compounds can be easily extracted from the slurry leaving the SCWG tubular reactor, transformed into a product and returned to agriculture as fertilizer.

At the end of the SCWG technology, distilled water is obtained, which can be used for technological purposes (e.g., as the feedwater for electrolyzers, boiler feed water, engine cooling water, etc.) or can be used in the greywater system, where such system exists, or can be returned directly to the nature.

As a result of processing the digested sludge with SCWG technology, the transport demand for the removed residual inert solids is reduced to a fraction, thus further decreasing CO<sub>2</sub> emissions.

In summary: SCWG processing of digested sludge significantly reduces the carbon dioxide emissions of the sewage plant with increased energy production, and it is also a major step towards a circular economy.

### Keywords

Circular economy, sewage sludge, biogas, SCWG, hydrogen, BioCat Reactor, biomethane, carbon dioxide emissions, carbon footprint, decarbonisation.

### BEVEZETÉS

A szennyvíziszapok Földünk nagy mennyiségben, kiszámítható módon rendelkezésre álló, jelentős volumenű megújuló energiaforrásai.

Jelenleg a szennyvíziszapok energiataralmának hasznosítása, megfelelő üzemenység esetén, többnyire rothasztókban (biogáz erőműben) történik. Az ott keletkező biogáz mintegy 40%-ban tartalmaz szén-dioxidot, ami légköri terhelésként kerül a környezetbe. Ezen túlmenően a rothasztott iszap még jelentős szervesanyag tartalommal bír, amely további bomlás esetén részben szén-dioxiddá, részben pedig metánná bomlik.

A biogáz szén-dioxid tartalma Power-to-Gas (P2G) technológiával feldolgozható biometánná, amihez az átalakítandó szén-dioxid mennyiségének négyszerese mennyiségű hidrogénre van szükség (*Zavarkó és Csedő 2021*). A hidrogént ipari méretekben elektromos vízbontó segítségével állítják elő, ami jelentős beruházást igényel és energiát kíván, ám pl. nap-, vagy szélenergia alkalmazásával minegy eltárolható a vízbontó üzemeltetésére (vagyis a hidrogén előállítására) fordított energia, egyben egy kiegyensúlyozott energiaformát (hidrogént) állítva elő. A hidrogén az előállításához felhasznált energiát képes raktározni, és amikor szükséges, leadni. Ráadásul rendkívül

jó a hatékonysága, hiszen 1 kg hidrogénből háromszor annyi energia nyerhető, mint 1 kg benzínből.

A hidrogén előállítás másik módja a magas szervesanyag tartalmú anyagok (pl. szennyvíziszap) szuperkritikus vizes elgázosítása (SCWG), amely összekapcsolható biogáz-, és P2G technológiákkal, így nyújtva megoldást a szennyvíziszapok teljeskörű energetikai hasznosítására.

Mivel a rothasztott iszap SCWG feldolgozása során annak szervesanyag tartalma hasznosított gázokká alakul, jelentősen lecsökken az SCWG technológiából kikerülő zagy mennyisége. Ebből a zagyból könnyen kivonhatók a foszfor vegyületek, amelyek talajjavító termékké dolgozhatók fel. Így a rothasztott iszap eredendően magas szállítási igénye a töredékére csökken, ezzel is csökkentve a szállítással kapcsolatos költségeket és a szén-dioxid kibocsátást. A technológia végterméke kondenzvíz tisztaságú víz, melynek széleskörű felhasználhatósága tovább emeli az SCWG technológia értékét.

### A SZUPERKRITIKUS VIZES ELGÁZOSÍTÁS (SCWG) TECHNOLÓGIÁJA

A szennyvíziszapok, beleértve a rothasztott iszapokat is, nagy nedvességtartalmú biomasszák, melyek energetikai hasznosítása a hagyományos égetéses eljárással nem célszerű. Mivel ezen iszapok nedvességtartalma 80% körül van, az égetés hatásfoka nagyon alacsony, az égetéshez szükséges szárítás által igényelt hőenergia és/vagy a támasztótüzelés energiaszükséglete miatt, az égetés energia-balansza alig pozitív. Az égetéssel történő energetikai hasznosítás egyéb, környezetvédelmi szempontból sem kívánatos, elsősorban a füstgázban található káros anyagok emissziója miatt.

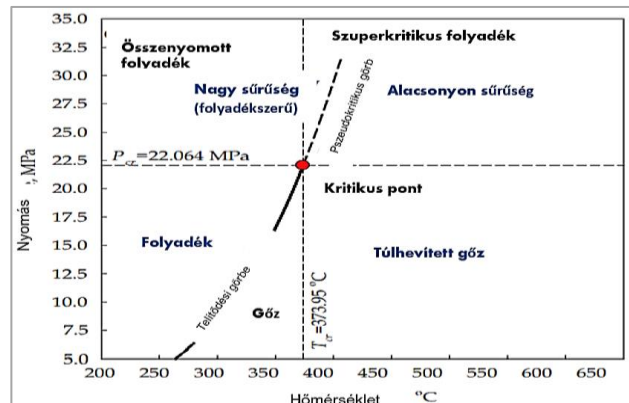
A nagy nedvességtartalmú biomasszák energetikai feldolgozása szuperkritikus vizes elgázosítással (SCWG) célszerű a magas energetikai hatásfok-, és a keletkezett hidrogén miatt, amely akár a szennyvíztelepen is felhasználható a biometanizációban, gazdaságossági és környezetvédelmi előnnyel is jár!

#### Mi az a szuperkritikus víz?

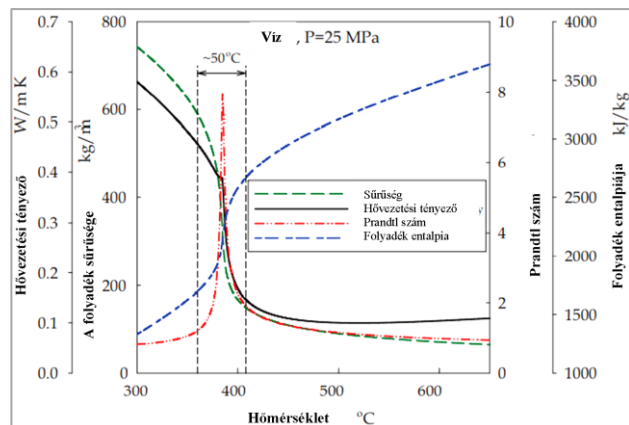
Az anyagok kritikus pontját 1822-ben fedezte fel Charles Cogniard de la Tour francia fizikus. A víz kritikus paraméterei:  $T_c=374^\circ\text{C}$ ,  $p_c=221$  bar. Amint az 1. ábra mutatja, hogy a víz 221 bar nyomás felett már nem megy keresztül fázisváltáson, vagyis bármennyire is emeljük a hőmérsékletét, nem válik gőzzé. A víz sűrűsége viszont, átlépve a kritikus pontot, egyre csökken és a víz viselkedése gőzszerűvé válik, annak minden jellemző tulajdonságával (Pioro és Mokry 2011).

Átlépve a kritikus pontot, a víz kiváló oldószerre válik a szerves anyagok számára és már nem oldja a szerves anyagokat. A kritikus paramétereken túli tulajdonságai a vizet kiválóan alkalmassá teszik „zöld” vegyipari technológiák megvalósítására. A szuperkritikus víz környezetipari és egyéb technológiai alkalmazását, nagy teljesítményű, folyamatos üzemű csőreaktorok megvalósítását, sokáig gátolta a magas hőmérsékletet és nagy nyomást egyidejűleg jól viselő szerkezeti anyagok hiánya (Pinkard és társai 2016).

A szuperkritikus víz (SCW) tulajdonságai szerint gőzszerű víz vagy vízszzerű gőz. A víz fizikai és kémiai tulajdonságai a kritikus pontot átlépve gyors változáson mennek keresztül. Többek között jelentősen megváltozik a víz sűrűsége, viszkozitása, dielektromos állandója, entalpiája és hőátadási tényezője is (2. ábra).



1. ábra. A víz fázisdiagramja (Forrás: Pioro és Mokry 2011)  
Figure 1. Pressure-Temperature diagram for water (Source: Pioro and Mokry 2011)



2. ábra. A víz fizikai tulajdonságai 25 MPa nyomáson (Megjegyzés: A víz termofizikai tulajdonságainak változása pszeudokritikus pont közelében: A pszeudokritikus régió 25 MPa-on, mintegy 50°C-os sáv) (Forrás: Pioro és Mokry 2011)  
Figure 2. Variations of selected thermophysical properties of water near pseudocritical point (Note: Pseudocritical region at 25 MPa is about  $\sim 50^\circ\text{C}$ ) (Source: Pioro and Mokry 2011)

### A létező szuperkritikus vizes technológiák és hasznosítási területük

Alapvetően kétfajta SCW technológiát különböztetünk meg:

#### Szuperkritikus vizes oxidáció (SCWO)

Ez egy *exoterm folyamat*, melynek során hőenergia keletkezik (hiszen ez gyakorlatilag égés). Az ilyen technológiák csőreaktora általában cső a csőben reaktor, ahol a belső csőben folyik az oxidáció és a keletkező hőenergiát a külső csőben lévő tápvíz vízgőzzé alakulásával vezeti el, amit pl. gőzturbina hasznosíthat. Ez a technológia is alkalmas lehet a szennyvíziszapok energiahatékony feldolgozására olyan helyen, ahol még nem működik biogáz üzem és nem kell hidrogént előállítani a biogáz mintegy 40%-át kitevő szén-dioxid biometánna való alakításához. A SCWO technológiával feldolgozhatók a friss és a vegyes iszapok is.

Az SCWO technológia veszélyes hulladékok megsemmisítésére, mélyen fekvő extra-nehéz olajok kitermelésére, hagyományos módszerrel kitermelt extra-nehéz olajok szállítást elősegítendő parciális finomítására és a palaolajok és olajpalák hatékony, hidraulikus rétegrepszést mellőző, kitermelésére használható (Hujber és Poós 2021).

#### *Szuperkritikus vizes elgázosítás (SCWG)*

Ez egy *endoterm folyamat*, ahol a csőreaktorba hőt kell bevinnünk ahhoz, hogy a folyamat lejátszódjon. A cél, a keletkező generátorgáz hasznosítása, amelynek összetétele 30-40% metán, 8-15% szénmonoxid és 40-65% hidrogén. A generátorgázok aránya katalizátorok alkalmazásával változtatható, szükség szerint beállítható. A SCWG technológia elsősorban nedves biomasszák energiahatékony feldolgozására használható úgy, mint lakossági-, és ipari szennyvíziszapok, cukornád törek (bagasse), cukorrépaszelet, gabonatörköly, gyors vágásforduló energia ültetvények, a biogáz üzemek rothasztóiból kikerülő rothasztott iszapok stb. (De Blasio és társai 2000).

#### **A szennyvíz iszapok SCWG kísérleteinek eredményei**

A szennyvíz iszapok SCWG technológiával történő feldolgozására egy közismert pilot berendezés készült el, a Karlsruhei Egyetem (KIT) VERENA nevű projektje keretében. Ezt a pilot üzemet nem követte ipari méretű kereskedelmi berendezés, viszont a VERENA pilot üzem működtetése során sok fontos gyakorlati eredmény született (Boukis és társai 2016). Ezek közül a legfontosabbak:

- a szennyvíziszap SCW alapú elgázosítása működőképes eljárás;
- a szennyvíziszap kigázosítása, illetve a kigázosítás mértéke függ a szennyvíziszap-részecskék méretétől és a szennyvíziszap homogenitásától (a részecskék méretének egyenlő vagy nem egyenlő nagyságától);
- ha a szennyvíziszap megfelelő előkészítése, elsősorban a szennyvíziszap oxigén-tartalmának eltávolítása (termikus gáztalanítás), nem történik meg, akkor jelentős lesz a termék-gázok CO<sub>2</sub> tartalma (20-30 %);
- nem megfelelő szennyvíziszap előkészítés (nem megfelelő aprítás-, és homogenizálás) esetén nagyobb méretű szilárd részek (többnyire kocsz darabok) keletkeznek, amelyek a berendezés csöveinek eltömődését, blokkolását okozzák rövid időn belül;
- A KIT által a Verena projektnél alkalmazott eljárás és berendezés nem tudja megakadályozni a kigázosítandó elegyben lévő oldatlan szerves anyagok csővezetékben-, elsősorban a reaktor csövei

ben, történő kiválását, ami dugulást és ezáltal gyakori üzemzavart okozott. Ez lehet az egyik oka annak, hogy a KIT szuperkritikus vizes elgázosításon alapuló technológiája a piacon nem terjedt el.

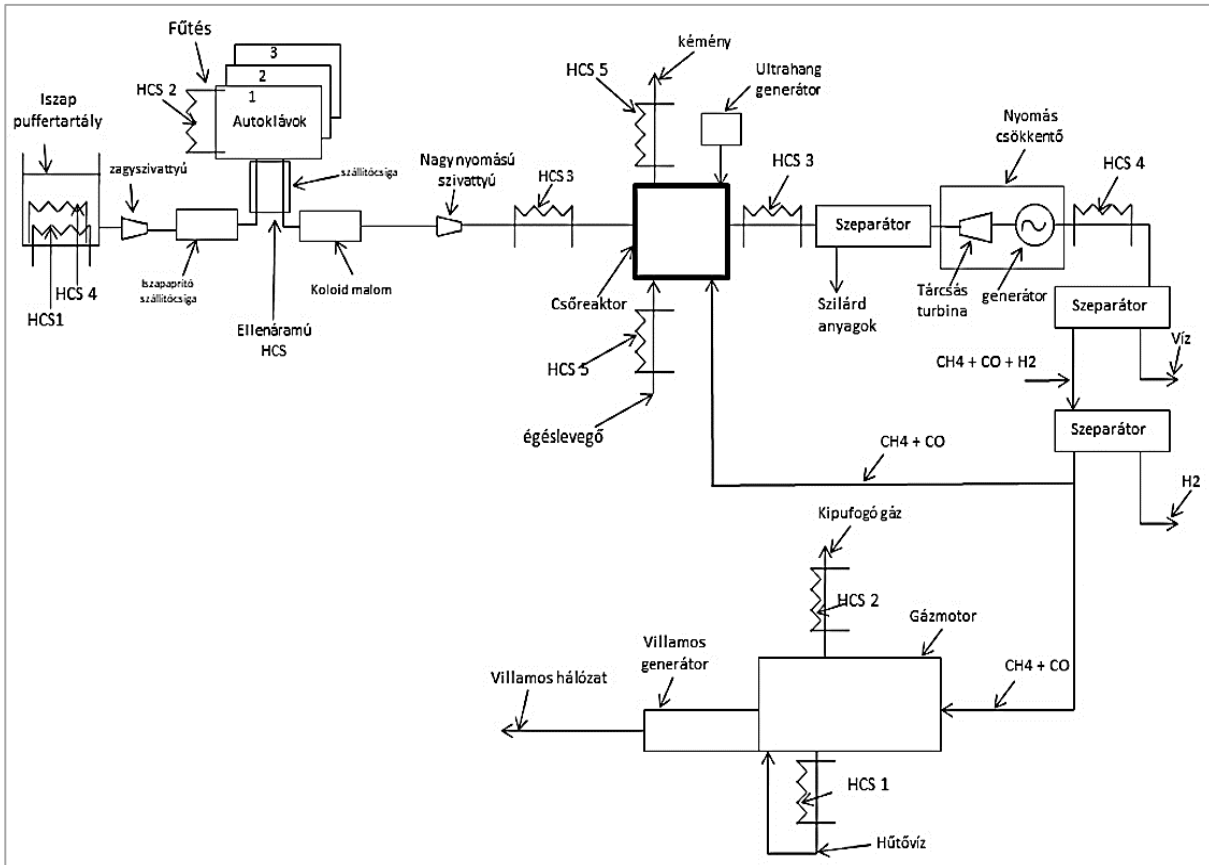
A felsorolt gyakorlati tapasztalatok egyben jelzik a KIT pilot technológia hiányosságait, és egyértelművé tesszik a fenti hiányosságok kiküszöbölése érdekében megoldandó feladatokat. Jelen cikkben bemutatott berendezés és eljárás (SCWG-HU technológia) a fenti hiányosságokat megszünteti. Stabil üzemű, energiahatékony szennyvíziszap feldolgozást tesz lehetővé, ami eredményezheti a jelen technológia gyors piaci térhódítását, használatának széles körben történő elterjedését.

#### **A SCWG-HU TECHNOLÓGIA FELÉPÍTÉSE, MŰKÖDÉSE**

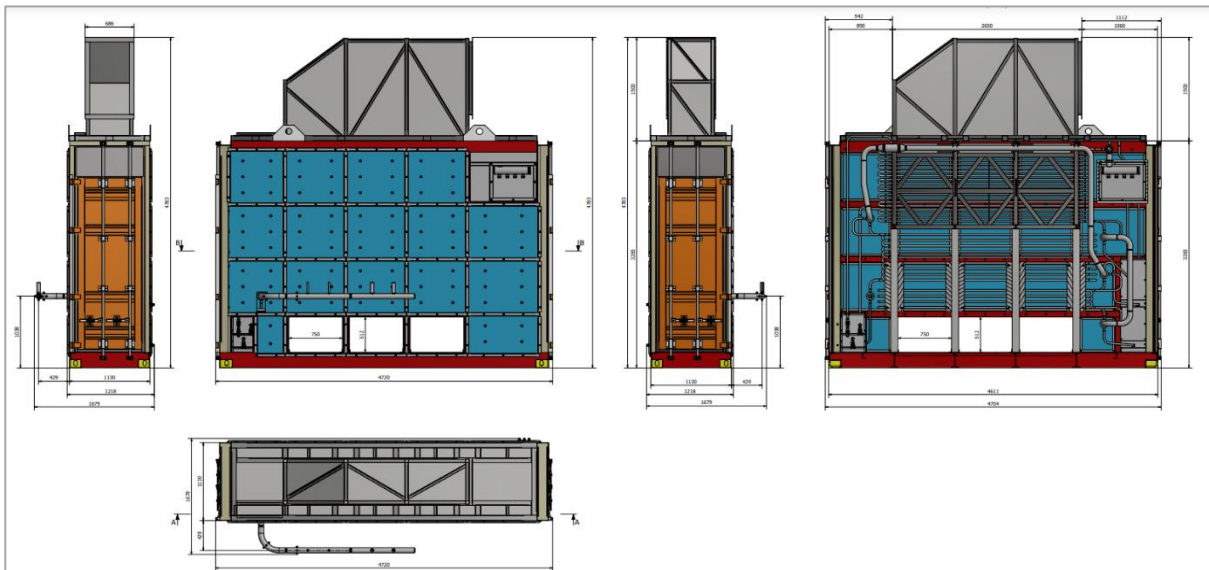
A 3. ábrán látható a SCWG-HU technológia felépítése, melynek működése a következő: a szennyvíziszapot előkészítjük (aprítjuk, előmelegítjük), majd azt 8-10 bar nyomás mellett, 170-190°C-os hőmérsékleten főzzük félórán keresztül autoklávban. A három autokláv közül az egyik tölt, a másik főz, a harmadik ürít, folyamatosan cserélve ezeket a funkciókat. Ezt követően, a főzött iszapot kolloid malomban homogenizáljuk, majd nagynyomású szivattyúval azt szuperkritikus üzemű csőreaktorba juttatjuk. A benne keletkező generátorgázzal működtetett gázfűtésű csőreaktor reaktorcsöveinek hossza a szennyvíziszap teljes elgázosodásához szükséges reakcióidő (3,5-4 perc) alapján kerül meghatározásra. A csőreaktorból kilépő elegyet szeparátorok segítségével szétválasztjuk. A vizet, amely gyakorlatilag desztillált víz, ipari célra (pl. elektromos vízbontó tápvizeként, kazántápvizként stb.) vagy öntözésre használhatjuk, az inert szilárd részeket, miután kivontuk belőle a foszfor vegyületeket, az építőipar hasznosíthatja.

A generátorgáz metán és szénmonoxid tartalma gázmotorban használandó fel, melynek segítségével hálózatra adható villamos áram-, és kapcsoltan hő termelhető, amely hőt a technológiában hasznosítunk, csökkentve ezáltal a veszteségeket.

A generátorgáz hidrogéntartalma elsősorban széndioxid-metánizációra használható, vagy mint megújuló „zöld” hidrogén, üzemanyag cellákban és közlekedési célú hidrogéngáz hálózatokban hasznosítható. Ez a folyamat, a szuperkritikus csőreaktor üzemét támogató HCS 3 és HCS 5 hőcserélőknek-, valamint a gázmotor hőenergiája iszap-előkészítési folyamatban történő hasznosításának-, és a nyomási energiát hasznosító tárcsás turbinának köszönhetően, jó hatásfokkal üzemel – energetikai hatásfoka jelentősen meghaladja a jelenlegi égetései rendszerek hatásfokát. A csőreaktor felépítését a 4. ábra mutatja.



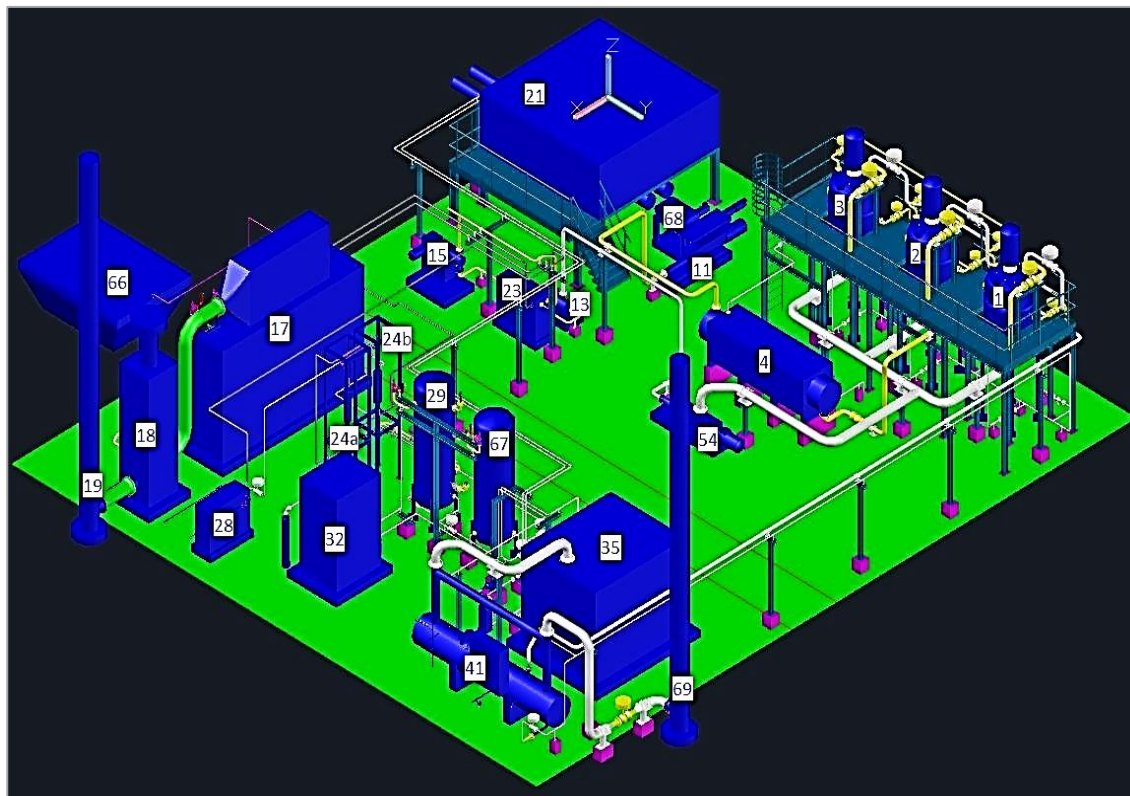
3. ábra. SCWG technológia folyamatábrája  
Figure 3. Flowchart of SCWG technology



4. ábra. Csőreaktor  
Figure 4. Tubular reactor

A szennyvíziszap előkészítésének fenti módja szükségtelemmé teszi, hogy a víztelenített, de mégis 80% körüli nedvességtartalmú, „földnedves” állapotú szennyvíziszaphoz további vizet kelljen adni, szükségtelemmé teszi annak 91-93% nedvességtartalmúra való felhígítását, a szivattyúzhatósága érdekében. Az előfűtős, előaprító majd nyomás alatti felfőzésnek (a kötött-víz kiszabadításának és részbeni víztelenítésének) köszönhe-

tően, az így keletkező 58-63% nedvességtartalmú szennyvíziszap, kiválóan szivattyúzhatóvá válik. A 60% körüli víz/száranyag arány (a 90% körüli vízarányhoz képest) nagyban hozzájárul a feldolgozás energiahatékonyságához azzal, hogy ciklusonként (ugyanazzal a hőenergia-mennyiséggel) mintegy négyszer annyi szárazanyagot gázosit el. A SCWG-HU üzem 3D modellje az 5. ábrán látható.



5. ábra. SCWG-HU üzem, 3D modell  
(Megjegyzés: A számok jelentése az 5. táblázatban található)  
Figure 5. SCWG-HU Plant, 3D model  
(Note: The meanings of the numbers are given in Table 5)

1. táblázat. Az 5. ábrában szereplő számokhoz tartozó információk  
Table 1. Information for the numbers in Figure 5

Sorszám	Készülék jele	Gép- és készülékjegyzék	Sorszám	Készülék jele	Gép- és készülékjegyzék
1	TK-001	Autokláv (főzőüst)	29	SP-029	Víz-gáz szeparátor
2	TK-002		32	HS-032	Gáz-gáz szeparátor (Hidrogén)
3	TK-003		35	GE-035	Gázmotor
4	E-004	Hőcserélő	38	-	Villamos generátor
11	NETZSCH-011	Zagyszivattyú 1.	39	-	20kV hálózatra csatlakozás
13	U-013	Kolloid malom	40	E-040	Hőcserélő
15	U-015	Magas nyomású szivattyú	41	HRS-041	Hőcserélő
17	U-017	Szuperkritikus csőreaktor	50	-	Gázüzemű szőnyegégő
18	CH-018	Hőcserélő	51	-	Ultrahang rezgőfejek
19	CH-019	Reaktor kémény	54	NETZSCH-054	Zagyszivattyú 2.
21	TK-021	Szennyvíziszap puffer tartály	66	KONT-066	Szilárd anyag tároló tartály
23	E-023	Hőcserélő	67	SP-067	Gáz puffertartály
24	VE-024a/b	Folyadék-szilárd anyag szeparátor	68	U-068	Szalagmérleg
28	E-028	Hőcserélő	69	CH-069	Gázmotor kémény

Az ellenáramú hőcserélő szerepét is betöltő szállítócsiga-, a hőszigetelt fűtő gőz-köppennyel, viszonylag olcsó kivitelűvé és energiahatékonyvá teszi a nyomás alatti főzés folyamatát. A szennyvíziszap nyomás alatti felfőzését követő ürítése során, a gőzzel együtt távozik az elegy (főtt iszap és víz) oxigén tartalma is, ami az elgázosítás során a

generátor gázok között keletkező CO<sub>2</sub> mennyiségét elhanyagolhatóvá teszi – jobb minőségű generátorgázt eredményez. A csőreaktor, szerkezetének köszönhetően kiemelkedően magas (90% feletti) hatásfokú, mind az energetikai hatásfokát-, mind pedig az átalakítás (elgázosítás) hatásfokát tekintve. A csőreaktor magas üzembiztonságú, amit



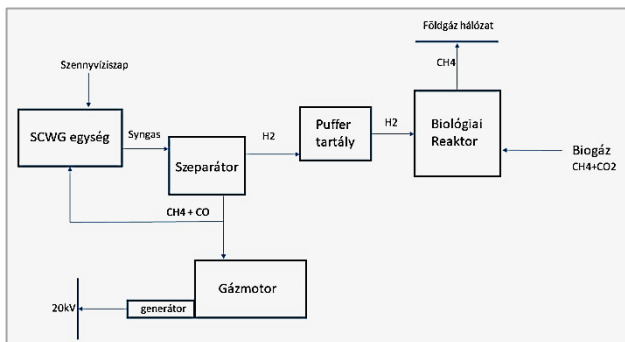
többek között az ultrahang teljesítmény-generátornak és a reaktor-csőveken megfelelően elhelyezett rezgőfejeknek köszönhetünk. A rezgőfejek megakadályozzák az elegyben lévő szervesen oldékony sók kiválásait. Nemcsak a csőrektor tisztántartását és a dugulások elkerülését biztosítják, de hozzájárulnak az elgázosítás hatásfokának emeléséhez, a hasznosított összes anyag magas értékének eléréséhez is. A csőreaktorból kilépő szuperkritikus elegy nyomási energiájának tárcsás turbinában történő hasznosítása tovább emeli a berendezés és az eljárás energetikai összhatásfokát.

A hidrogén leválasztása és szén-dioxid-metanizációra történő hasznosítása mellett a visszamaradó metán plusz szén-monoxid gázmotorban való hasznosítása-, a gázmotor hulladékhőjének technológiai folyamatban HCS 1 és HCS 2 hőcserélők által történő felhasználásának köszönhetően, jelentősen javítja az eljárás pénzügyi, gazdasági paramétereit is.

A jó hatásfok egyenlő a környezetvédelemmel, amelynek eredménye anyag-, és energiatakarékosság, valamint emisszió csökkenés. De a jó hatásfokot azért is fontosnak tartjuk, mert a szennyvíziszap, mint jelentős mennyiségű, kiszámíthatóan rendelkezésre álló megújuló energiaforrás, egyik alapja lehet a tervezhető menetrendű, Power to Gas (P2G) alapú, decentralizált villamosenergia termelésnek, és a zöld hidrogén-gazdaság megteremtésének is.

#### A módosított SCWG technológia integrálása a biogáz üzemek rendszerébe

A fentebb ismertetett módosított SCWG technológia biogáz üzemek rendszerébe történő integrálása viszonylag egyszerű feladat (lásd 6. ábra).



6. ábra. A SCWG-HU technológia integrálása a biogáz üzemek rendszerébe

Figure 6. Integration of SCWG-HU technology into the biogas plant system

Az integráláshoz szükséges elemek, a szeperator, puffertartály és a biológiai reaktor ismert, kiforrott berendezések. A BioCat reaktor, mint a P2G, illetve P2M (metán) technológia meghatározó eleme, már érett technológia (Lochbrunner és társai 2020, Lardon 2017). A technológia magyarországi képviselője a Power to Gas Hungary Kft. (lásd [www.p2g.hu](http://www.p2g.hu)).

A kötet külön cikkben mutatja be a szennyvíz karbonlábnomának csökkentését és energetikai hasznosítását célzó P2G technológiát: *Körkörös gazdaságfejlesztési és dekarbonizációs lehetőségek a power-to-gas technológia magyar szennyvíztisztító telepeken való alkalmazásával* (Zavarkó és Csedő 2021)

#### Az integrált SCWG+BioCat rendszertől várható előnyök, szinergiák

A rothasztott szennyvíziszap még mintegy a felét tartalmazza a rothasztóba kerülő vegyesiszap eredeti energia-tartalmának. Ennek az energiának, kapacitástól függően, a 70-75%-át tudja a SCWG technológia generátorgázként (syngas) kinyerni, azaz az SCWG gyakorlatilag megkettőszerezheti a biogázt hasznosító szennyvíztelepek energia-termelését.

A magas (50-60% körüli) hidrogéntartalmú syngas alkalmas a biogáz szén-dioxid tartalom jelentős részének biometánná történő alakítására és ezzel a szennyvíztelep fajlagos szén-dioxid kibocsájtásának csökkentésére.

Mivel az SCWG által generált hidrogén segítségével a biogáz szén-dioxid tartalmából metán keletkezik, így a biogáz teljes egészében földgáz hálózatba táplálhatóvá (97% feletti metántartalmúvá) válik, ezért a meglévő gázmotor kapacitása elegendő a SCWG technológia syngas-a fennmaradó (CH<sub>4</sub> + CO) részének villamos energiává alakítására (Schlautmann és társai 2015).

Amikor a szennyvíztelep által termelt energia megduplázásáról beszélünk, akkor ezalatt azt értjük, hogy változatlan mennyiségű villamos-, és hőenergia előállítás mellett még előállítunk legalább ilyen mennyiségű energiataralommal rendelkező biometánt is, amelyet a földgáz hálózatba táplálunk.

A rothasztott iszap SCWG feldolgozása lehetővé teszi a foszfor vegyületek kivonását a csőreaktorból kikerülő zagyból. A rothasztott iszap SCWG feldolgozása nagymértékben lecsökkenti az elszállítandó, lerakandó szilárdanyag mennyiségét. A SCWG technológia biogáz üzemekbe való integrálása, a károsanyag emisszió lecsökkenése mellett, közelebb vihet a körkörös gazdaság megvalósításához is.

#### Az integrált SCWG+BioCat rendszer továbbfejlesztése

Az integrált SCWG+BioCat technológia széleskörű bevezetése előtt egy ipari méretű pilot üzem létesül, amelynek segítségével az alábbi K+F+I célok és feladatok oldhatók meg:

- A technológia egyes berendezései konstrukciós méreteinek-, valamint üzemi paramétereiknek optimalizálása,
- A syngas optimális összetételének kialakítása, a célszerű katalizátorok meghatározása,
- A BioCat reaktor üzemének vizsgálata magas CH<sub>4</sub> tartalmú CO<sub>2</sub> és H<sub>2</sub> gázok esetén; a H<sub>2</sub> „szennyezői” (pl. CO) lehetséges maximumának meghatározása,
- A BioCat reaktor méreteinek, üzemi paramétereinek stb. kialakítása, optimalizálása,
- A SCWG+BioCat technológia együttes működési hatékonyságának, valamint termikus és villamos hatásfokának verifikálása független szervezetek (TÜV, SGS stb.) által.

## A SCWG-HU TECHNOLÓGIA BEVEZETÉSÉNEK GAZDASÁGI HATÁSAI

Magyarországon mintegy 21 db 80 ezer LE feletti szennyvíztelep található, ahol bevezethető lenne a SCWG-HU technológia, integrálva azt az ott működő biogáz üzemekkel. Óvatos becslés szerint, ez a 21 üzem az összes magyarországi iszapmennyiség mintegy 40%-át dolgozza fel, ami kb. 100 ezer t<sub>szw</sub>/év mennyiséget jelent (OVF 2015). Ez mintegy 11 MWe beépített villamos összteljesítményt tesz lehetővé és 84.360 MWh megtermelhető villamos energiát jelent, valamint ezzel párhuzamosan közel 90 ezer MWh hőenergia megtermelésének és hasznosításának a lehetőségét is magában rejt. Ezen energia-mennyiségek jelentős része ma szén-dioxidként és metánként a légkörbe jutva, üveghatású gázként szennyezi a környezetet. Ezek a telepek, amennyiben a megtermelt többlet-energiát (biometánt) helyben használják fel, önellátóak lehetnek villamos energiából, ami jelenleg az üzemeltetési költségeik 60-70%-át teszi ki. Amennyiben a telepek, az általuk megtermelt biometánt a földgáz hálózatba táplálják, annak mennyisége 31,4 millió Nm<sup>3</sup> lehet, ami ugyanekkora mennyiségű földgáz importjának kiváltását jelenthetné.

### ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban zajlik a körforgásos gazdaság térnyerése mely hozzájárul az Európai Zöld Megállapodás (European Green Deal) megvalósításához, vagyis ahhoz a célhoz, hogy Európa 2050-re a világ első klímasegélyes kontinensévé váljon (European Policy Center 2020).

A SCWG-HU technológia megvalósítása és annak a biogáz üzemekbe való integrálása, teljesen megfelel az Európai Zöld Megállapodás céljainak. Az SCWG technológia termikus és villamos hatásfoka mintegy 100%-kal haladja meg a modern ORC (Organic Rankine Cycle, zárt hurkú termodinamikai cikluson alapuló rendszer elektromos és hőenergia előállítására) alapú égetéses technológiák ilyen irányú számain, valamint azon túlmutatón, jelentős mértékű pozitív környezeti és gazdasági hatása várható.

Mivel az SCWG által generált hidrogén segítségével a biogáz szén-dioxid tartalmából metán keletkezik, így a biogáz teljes egészében földgáz hálózatba táplálhatóvá (97% feletti metántartalmúvá) válik, ezért a meglévő gázmotor kapacitása elegendő a SCWG technológia syngas-a fennmaradó (CH<sub>4</sub> + CO) részének villamos energiává alakítására (Schlautmann és társai 2015).

A rothasztott iszap SCWG feldolgozása lehetővé teszi a foszfor vegyületek kivonását a csőreaktorból kikerülő zagyából. A rothasztott iszap SCWG feldolgozása nagymértékben lecsökkenti az elszállítandó, lerakandó szilárdanyag mennyiségét. A SCWG technológia biogáz üzemekbe való integrálása, a károsanyag emisszió lecsökkenése mellett, közelebb vihet a körkörös gazdaság megvalósításához is.

### IRODALOMJEGYZÉK

Amrullah, A., Y. Matsumura (2018). Supercritical water gasification of sewage sludge in continuous reactor, Bioresource Technology, Volume 249, , Pages 276-283. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417317820>

Antal M., S. G. Allen Schulman, D., X. Xu, R. J. Divilio (2000). Biomass Gasification in Supercritical Water, Ind. Eng. Chem. Res. 2000, 39, 11, 4040-4053 <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie0003436>

Bailera, M., P. Lisbona, L.M. Romeo, S. Espartero (2017). Power to Gas projects review: Lab, pilot and demo plants for storing renewable energy and CO<sub>2</sub>, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 69, Pages 292-312, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116307833>

Boukris, N., S. Herbig, E. Hauer (2016). Gasification of Dutch sewage sludge in supercritical water commissioned by STOWA / NL STOWA Project number DQL 432.601 Final Report

Csedő Z., Sinóros-Szabó B., Zavarkó M. (2020). Seasonal Energy Storage Potential Assessment of WWTPs with Power-to-Methane Technology, Energies 2020, 13 (18), 4973. <https://doi.org/10.3390/en13184973>

De Blasio, C., M. Prestipino, A Galvagn., (2019). An Assessment of Operating Conditions for Supercritical Water Gasification and Safety Issues Conference: The 5th World Congress on New Technologies, file:///C:/Users/vera/OneDrive%20-%20VTK%20Innosystem%20Kft/X1/Downloads/ICERT\_120\_in\_proceedings.pdf

European Policy Center (2020). The digital circular economy, A driver for the European Green Deal [https://www.epc.eu/content/PDF/2020/DRCE\\_-\\_Executive\\_summary1.pdf](https://www.epc.eu/content/PDF/2020/DRCE_-_Executive_summary1.pdf)

Hujber O., Poós T. (2021). Berendezés és eljárás veszélyes hulladékok szuperkritikus-vizes oxidációval történő energiahatékony megsemmisítésére. EMT Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság. XXIX. Nemzetközi Gépészeti Konferencia (OGÉT) <https://ojs.emt.ro/ojs/article/download>

Lardon, L. (2017). BioCat – Power to Gas technology by Biological methanation; Integration to a resource treatment plant [https://www.grese.ch/wp-content/uploads/2017/02/09\\_Laurent-Lardon.pdf](https://www.grese.ch/wp-content/uploads/2017/02/09_Laurent-Lardon.pdf)

Liebetau, J., U. Baier, D. Wall, J.D. Murphy (2020). Integration of biogas systems into the energy system, technical aspects of flexible plant operation IEA Bioenergy: Task 37 <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/09/Integration-of-biogas-systems-into-the-energy-system-Report.pdf>

Lochbrunner, A., S. Schirrmeister (2018). Innovative large-scale energy storage technologies and Power-to-Gas concepts after optimisation PtG demonstration plant Solothurn commissioned. <https://ec.europa.eu/documents/downloadPublic>

OVF (2015). Szennyvíziszap kezelési és hasznosítási stratégia 2014 -2023. [http://biopsol.hu/files/file/Szennyviziszap\\_kezelesi\\_es\\_ha\\_sznositasi\\_strategia\\_2018\\_2023.pdf](http://biopsol.hu/files/file/Szennyviziszap_kezelesi_es_ha_sznositasi_strategia_2018_2023.pdf)

Pinkard, B.R., D.J. Gorman, K. Tiwari, E.G. Rasmussen, J.C. Kramlich, P.G. Reinhall, I.V. Novosselov (2019). Supercritical Water Gasification: Practical Design Strategies and Operational Challenges for Lab-Scale,

Continuous Flow Reactors. *Heliyon*, Volume 5, Issue 2. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01269>

*Pioro, I., S. Mokry* (2011). Thermophysical Properties at Critical and Supercritical Conditions book: Heat Transfer - Theoretical Analysis, Experimental Investigations and Industrial Systems. DOI:10.5772/13790

*Pioro, I., S. Mokry* (2011). Heat Transfer to Fluids at Supercritical Pressures. [https://www.researchgate.net/publication/267423548\\_Heat\\_Transfer\\_to\\_Fluids\\_at\\_Supercritical\\_Pressures](https://www.researchgate.net/publication/267423548_Heat_Transfer_to_Fluids_at_Supercritical_Pressures)

*Safari, F., A. Ataei, A. Tavasoli* (2016). Gasification of sugarcane bagasse in supercritical water media for com-

bined hydrogen and power production: a novel approach. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Volume 13, page 2393–2400. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-016-1055-7>

*Schlautmann, R., H. Böhm, A. Zauner, F. Mörs, R. Tichler, F. Graf, T. Kolb* (2021). Renewable Power-to-Gas: A Technical and Economic Evaluation of Three Demo Sites Within the STORE&GO Project. <https://doi.org/10.1002/cite.202000187>

*Zavarkó M., Csedő Z.*, (2021). Körkörös gazdaságfejlesztési és dekarbonizációs lehetőségek a power-to-gas technológia magyar szennyvíztisztító telepeken való alkalmazásával. *Hidrológiai Közlöny*, 101. évf. 3. szám.

## A SZERZŐ



**HUJBER OTTÓ** okleveles villamosmérnök (Moszkvai Energetikai Egyetem, 1979, Summa Cum Laude), a Coopinter Kft. fejlesztési igazgatójaként a nedves biomasszák hasznosítási lehetőségeivel foglalkozik. Fő kutatási és fejlesztési területe a szuperkritikus vizek ipari hasznosítása, kiemelt tekintettel a szuperkritikus vizes oxidációs (SCWO) és a szuperkritikus vizes elgázosítási (SCWG) technológiákra.

## Körköröségi mértékének számítási lehetősége és nehézsége az élelmiszeriparban

Harasztiné Hargitai Réka, Somogyi Viola

Pannon Egyetem, Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium, Veszprém, Egyetem u. 10.  
(E-mail: hargitai.reka@mk.uni-pannon.hu)

### Kivonat

A körforgásos gazdaság (CE) kialakításának lehetőségeit és a körforgás mérését számos kutatás támasztja alá. A vizet azonban nem tekintik nyersanyagként, a számítások nem veszik figyelembe a vízpazarlást annak ellenére, hogy a vízkészletek megóvása a fenntarthatósági célok teljesüléséhez járulhat hozzá.

Kutatásunkban megvizsgáltuk a körforgásos gazdasághoz alkalmazott mutatókat, szem előtt tartva a vízkörforgás mérésének és kialakításának lehetőségét. Két indikátort vizsgáltunk részletesebben, először az eredeti számítási lépéseket figyelembe véve, majd átalakítottuk őket a vízkörforgás mérésére. A vizet, mint alapanyagot illesztettük be a kérdőív jellegű CE Indicator Prototype (CEIP) és a termék központú Material Circularity Indicator (MCI) számításába. A mutatók tesztelésére esettanulmánynak egy élelmiszeripari vállalatot választottunk, mely kiváló példa a lineáris rendszerekre, mivel a számos megkötés miatt a körforgás nehezen megvalósítható. Kutatásunk célja a már rendelkezésre álló indikátorok átalakítása oly módon, hogy az kövesse a körforgásos gazdaság szempontjait, ötvözve a vízkör mérésével, és a későbbiekben kiegészítve a fenntarthatósági célokhoz való hozzájárulás mérésével. A CEIP előzetes felmérésre alkalmas, a vízben található szennyeződések visszaforgatását még kezeli. Az MCI az életciklus értékelésbe is beépült, és logikai felépítése miatt a víz, mint alapanyag integrálható a módszertanba. A módosított indikátorok lehetővé teszik, hogy a cég a víz újrahasználati stratégiáját átgondoltan tudja kezelni, ennek elősegítésére egy komplex indikátort javasolunk létrehozni, mely tartalmazza a vizsgált indikátorok előnyeit.

### Kulcsszavak

Körforgásos gazdaság, baromfifeldolgozás, indikátor, Material Circularity Indicator, CE Indicator Prototype.

## Possibility and difficulty of calculating the degree of circularity in the food industry

### Abstract

Options for developing a circular economy (CE) and measuring the circularity are corroborated by various researches. However, water is not considered as a raw material, the calculations do not take into account wasting the water, even though the conservation of water resources can contribute to the achievement of sustainability goals.

In this research, the applied indicators of the CE were examined, keeping in mind the possibility of measuring and designing the water cycle. Two indicators were investigated in more detail, first considering the original calculation steps, then modifying them to measure the water cycle. Water was included as a raw material into the converted calculation of the questionnaire-type CE Indicator Prototype (CEIP) and the product-centred Material Circularity Indicator (MCI). To test the indicators a poultry processing company as a case study was chosen, which is an excellent example of linear systems because circularity is difficult to implement due to the many barriers.

The aim of this research is to modify the available indicators in a way that it would follow the perspective of the CE, combined with the measurement of the water cycle. Later it could be supplemented with the assessment of contributing to the sustainable development goals. CEIP is suitable for preliminary survey, but it can manage the recycling of contaminants from water. MCI has also been incorporated into Life Cycle Assessment, and due to its logical structure, water as a raw material can be integrated into the methodology. The modified indicators allow the company to manage its water reuse strategy thoughtfully. To facilitate this, the authors propose to create a complex indicator that includes the benefits of the examined indicators.

### Keywords

Circular Economy, Poultry Processing, Indicator, Material Circularity Indicator, CE Indicator Prototype.

## BEVEZETÉS – KÖRFORGÁSOS GAZDASÁG ÉS MUTATÓI

A körforgásos gazdaság (CE) kutatása és alkalmazásra való törekvés az elmúlt években egyre hangsúlyosabb, köszönhetően a technológiai hurok pozitív gazdasági (és környezeti) hatásának. A gazdasági forma átalakulása azt a pontot közelíti meg, ahol az alábbi szempontok teljesülhetnek (*Lieder és Rashid 2016*): hulladék minimalizálása a környezet terheltségének csökkentésére, erőforrások újra felhasználása, és a gazdasági előnyökből származó nyereségek növelése. További fejlődéshez azonban támogatnunk kell a termelés alkalmazkodását a fogyasztási oldal növekedéséhez azáltal, hogy ösztönözzük a termékek élettartamának lehető legjobb módon történő meghosszabbítását (*Jawahir és Bradley 2016*).

A körforgásos gazdaság 1977-ben jelent meg először említés szintjén a publikációkban (*Jones 1977*). 2008-ban Kínában fogadták el az első körforgásos gazdaságot szolgáló törvényt (*Government of China 2008*), majd az Európai Unió 2015-ben adta ki a tagországokra érvényes cselekvési tervét (*European Commission 2015*). Kiemelt területek közé sorolták a műanyagokat, élelmiszer-hulladékokat (*Santagata és társai 2021*), kritikus fontosságú nyersanyagokat, építőipari hulladékokat és a biológiai forrásból származó anyagokat.

A politikai és a gazdasági szereplők is látják (*Michelin és társai 2017*), hogy ezzel a modellel az alapanyagok és késztermékek újbóli felhasználása gazdasági értelemben is értékteremtő, miközben csökken a hulladék mennyisége.

A hulladékcsökkentés a vállalkozások számára megkarítást jelenthet, visszaszorítja az üvegházhatású gázok kibocsátását (Xue és társai 2019), ezáltal csökken a környezetre nehezedő nyomás. A gyakorlati megoldások egyre többször mutatnak rá, hogy a körforgásos gazdaság és az Ipar 4.0 nem elválasztható egymástól (Jabbour és társai 2018). Körforgás kialakítása során az ellátási láncok kapcsolódnak, ami az ipari szimbiózis kialakítását sürgeti (Tseng és társai 2018), ezáltal a kritikus területek, például az élelmiszeripar körforgása is fokozható (Tseng és társai 2019). Az ellátási lánc és a körkörösség összekapcsolásával javítható a hatékonyság környezetvédelmi, gazdasági és társadalmi szempontból egyaránt (Manavalana és Jayakrishna 2019), így a fenntarthatósági célok (SDG) (United Nations 2015) teljesüléséhez is közelebb kerülünk.

A körforgásos gazdaságra való sikeres áttérést segíti, ha elemezni tudjuk (Moraga és társai 2019) gazdasági és környezetvédelmi szempontból egyaránt a tevékenységeket. A mérést elvégezhetjük nano-, mikro-, mezo- és makroszinten. A nanoszint egy-egy terméket vizsgál, a mikroszinten a vállalatok értékelhetők, a mezoszint egy-egy ország körkörösségét méri, míg a makroszinten a mutatók globális léptékű számokkal dolgoznak. A Föld egészére számítva a tevékenységeinkhez felhasznált nyersanyagoknak a 9,1 %-a volt körforgásos alapanyag (Circle Economy 2018). Ez a globális körforgás érték 2019-ben 9 %-ra (Circle Economy 2019) és 2020-ra (Circle Economy 2020) 8,6 %-ra esett vissza. A 2020-as év megmutatta, hogy a változás lehetséges, hiszen a kibocsátásunk csökkent, ennek ellenére a gazdasági formák körkörös jellege nem változott (Circle Economy 2021). Ahhoz, hogy a globális körforgásos érték javuljon, az alacsonyabb szinteken kell változtatnunk, melyek állapotának felmérésére a különböző szintű mutatók (Saidani és társai 2019) rendelkezésre állnak. Szem előtt kell azonban tartanunk, hogy a mikroszintű mutatók kizárólag a gazdasági szempontokra összpontosítanak (Kristensen és Mosgaard 2020). A kritikus területekre kiválóan rámutatnak, de nem ajánlanak fel tovább lépési lehetőségeket, így az ipari partnerek sem tudnak kapcsolódási pontot keresni egymás közt ezért csupán rész megoldásokhoz vezetnek. Ennek ellenére ezek az indikátorok jó kiindulópontok egy komplex, minden részterületre kiterjedő elemzéshez (Moraga és társai 2019), mely megalapozhatja a körforgásos gazdaság, és az Ipar 4.0 jövőbeni összekapcsolását.

A lineáris gazdaságból az élelmiszeripari területeken (Van Zanten és társai 2019) a legnehezebb kiugrani, melyet elsősorban a fogyasztóvédelmi szabályozások hátráltatnak. Az állatföldelődéshez elengedhetetlen a több szempontból is környezetterhelő állat nevelési tevékenység (Xue és társai 2019), mely a takarmány felhasználás és a légszennyező anyagok kibocsátása miatt kiemelt jelentőségű. Az élelmiszeriparban a körforgás kialakítására (Toop és társai 2017) leginkább a hatékony hulladékfeldolgozás és visszaforgatás lépéseit vizsgálják, például miként válhat az emberi fogyasztásra alkalmatlan melléktermékekből takarmány. A magyar szabályozás (Magyarország Kormánya 2012) erre egyértelmű, hatékony módszereket ajánl a köz- és állategészségügyi kockázat alapján.

A körforgásos gazdaság alapjai különböző mértékben jelen vannak az európai országokban, ahogyan Magyarországon is. A magyar célok (Bahn-Walkowiak és Steger 2015) elsősorban az erőforrások felhasználásának hatékonyságára koncentrálnak. Gyakorlati alkalmazás és kutatás-fejlesztés mértéke (Bassia és Dias 2019) elmarad a többi európai országhoz képest. Korábbi fejlesztésekhez a környezetterhelés miatt fizetett bírságok járultak hozzá, míg a környezet védelme önmagában nem motíválta kellőképpen a gazdasági szereplőket. A körforgás felé átmenetet képező elemzések, mint például a mikroszintű mutatók alkalmazása segíthet megmutatni a vállalkozásoknak, hogy a fejlesztések több szempontból is hasznosak.

Kutatásunk során áttekintettük a szakirodalomban is ajánlott mutatókat, melyek egy magyar baromfifeldolgozó vállalat adatainak felhasználására alkalmasak lehetnek. A nano- és mikroszintű mutatók között kerestük azokat a mutatókat, melyek anyag- és erőforrásközpontúak (de Oliveira és társai 2021). Fontos szempont volt, hogy a számítások megismételhetők, és kellő összetettségük legyenek, akár többszintű elemzést is el lehessen végezni velük. A mutatók közül az egyszerűbbek a termékek összehasonlítására, előzetes elemzésre alkalmasak, a döntéshozók számára a körkörösség felé fordulást ösztönzik, de nem adnak részletes képet a technológiáról. A részletgazdag mutatók visszacsatolást adnak a fejlesztendő és elvetendő műveletekre a CE elérése érdekében, ezáltal lassú, de megbízható módszerek a már meglévő termékek értékelésére.

Cikkünkben bemutatjuk két eltérő jellegű indikátor átalakítását, figyelembe véve a körforgásos gazdaság szempontjait és a vízkör mérésének lehetőségeit. Megmutatjuk, mely technológiai lépéseknél tudjuk összekapcsolni őket a baromfifeldolgozás lépéseivel. Ezt kiegészítjük a felhasznált alapanyagokkal és a technológia részletes ismertetésével. A számításokat elvégezzük az eredeti kézikönyveknek megfelelően, majd módosítjuk őket. A körforgásos mutatókba beillesztjük a vízkör mérésének lehetőségét.

## MÓDSZERTAN

A körforgásos cél eléréséhez vezető úton a gazdaság minden területére kiterjedően érdemes vizsgálni a jelenlegi értékelési módszereket és technológiai lépéseket. A mutatók esetében érdemes olyan területre is fókuszálni, amelyek kevésbé rugalmasan körkörösíthetőek, így a mutatók hiányosságaira, korlátjaira mutató információkhoz jutunk. Ez az oka annak, hogy esettanulmányunkhoz egy baromfifeldolgozó vállalat adatait használtuk fel.

Az általunk vizsgált mutatók nem mindegyike alkalmas a baromfifeldolgozás körkörösségének számítására, ha az eredeti metodológiájukat vesszük alapul, de minimális átalakítással alkalmasak lehetnek. A kérdőív jellegű CE indicator prototype (CEIP), figyelembe veszi az Ellen MacArthur Foundation által a termékek életlani szakaszaira megfogalmazott körkörös tervezési útmutatót (Ellen MacArthur Foundation 2016). Ez a módszer egy gyors felmérésre (interjúra) alkalmas, mellyel beazonosíthatók a körkörösség sebezhető pontjai. Mi arra használtuk, hogy beazonosítsuk a további kapcsolódási pontokat a körkörösség felé. A részletesebb számításokhoz kiválasztottuk a

Material Circularity Indicator (MCI), amely egy termék-központú körköröségi mutató. A kalkuláció a termékjellemzők és anyagáramok ismeretében végezhető el, azonban nem veszi figyelembe a körforgás kialakítása szempontjából kiemelt szerepet játszó biológiai ciklust. Ezzel a számítással összetettebb képet kaptunk a technológiai lépések és a körforgás irányába való elmozdulás közti kapcsolódási pontokra. Mindkét körforgásos mutató megerősített bennünket a baromfifeldolgozás pazarlása és a visszaforgatási lehetőségek elemzésében.

#### „CE indicator prototype” számítása

A *CE indicator prototype* CEIP (Cayzer és társai 2017) a termék teljesítményét vizsgálja a körforgásos gazdaság alapelveivel összhangban. Formája rendhagyó, a termékúthoz kapcsolódó kérdésekre adott válaszok alapján számítja a körköröségi mértékét. Így közelebb viszi a termék tervezőit a körköröségi szemlélethez, de távolabb kerül a többi, gyakorlati alkalmazású mutatótól. A CEIP előnye, hogy az összesítés olyan formában készült, hogy az bármely jelentés mellékletét képezhesse. A mutató felépítése kapcsolódik a termék életciklusának lépéseire:

- Tervezés/Újratervezés (Design/Redesign)
- Gyártás (Manufacturing)
- Kereskedelem (Commercialisation)
- Használat közben (In Use)
- Használat után (End of Use)

Az életciklus kategóriákhoz eltérő számú kérdések kapcsolódnak, egyes esetekben kiegészítő kérdések segítik a pontozást. A válaszokra segítséget adnak („Responses”), így megkönnyítik a számítás megértését. A legtöbb kérdés feleletválasztásos, néhány esetben megadhatjuk a termékre vagy hulladékokra vonatkozó válaszunkat %-os értékben. Az elérhető maximális pontszám minden kérdésnél egyedi, a hozzájuk kapcsolódó válaszlehetőségek értékeit a kézikönyvben előre meghatározták, mellyel számolhatjuk a termékre elérhető maximális pontszámot és jelenlegi állapotának értékét.

$$CEIP = \frac{\sum \text{megszerzett pontok}}{\sum \text{elérhető pontok}}$$

A válaszokat megadva legfeljebb 152 pontot érhetünk el, de a termék tulajdonságaitól függ a maximális pontszám. Például van 3 kérdés (Q2, Q8, Q9), melynél kiválaszthatjuk, hogy a termék típusára nem alkalmazható („Not applicable to product type”). Ekkor a maximális pontszám 120-ra csökken. Amint kitöltöttük a táblázatot a rendelkezésre álló információk alapján, az összesítés megadja a termékünk értékelését az alábbi kategóriák szerint:

- $0 \leq \text{gyenge (Poor)} \leq 0,2$
- $0,2 < \text{elfogadható (Fair)} \leq 0,4$
- $0,4 < \text{jó (Good)} \leq 0,6$
- $0,6 < \text{nagyon jó (Very Good)} \leq 0,75$
- $0,75 < \text{kiváló (Excellent)} \leq 1$

A számítás menetéről részletesebb instrukciókat az eredeti módszertanból kaphatunk (Cayzer és társai 2017).

#### Anyagköröségi mértékének számítása

Az anyagköröségi mutatót (Ellen MacArthur Foundation 2016) az ipar számára tervezték. Elsődlegesen

a termék ismeretét követeli meg, illetve az ipari átlag adatokat. Ez a mikroszintű mutató a nyersanyagok eredetére, a hulladékok sorsára és a termék hasznosságára koncentrálna. Azok a termékek, melyek nyersanyagból készülnek, és a hulladéklerakón végzik, lineáris termékek. Ezzel szemben a 100%-ban másodnyersanyagot tartalmazó termékek körkörösnek tekinthetők. E két véglet között található meg a termékek többsége, ezért az MCI 0 és 1 közötti értéket kapott. A 0 jelenti a linearitást, az 1 a körköröséget. A számítás előtt érdemes megjegyezni, hogy a módszertan él néhány feltételezéssel:

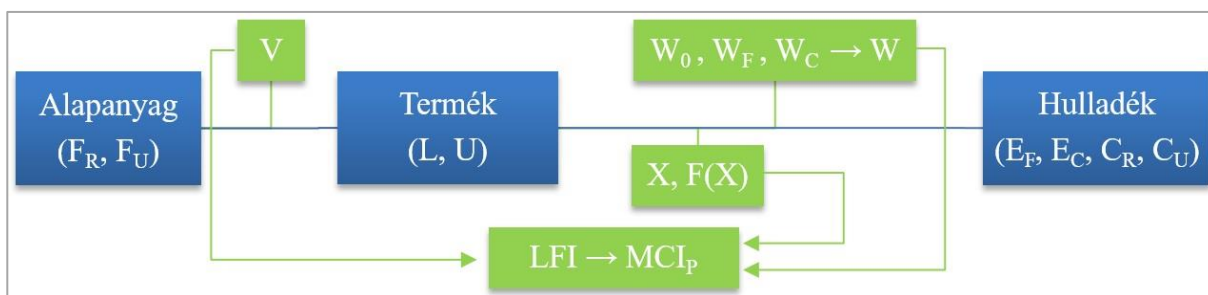
- a mutató nem feltételezi, hogy a hulladék újra hasznosításból visszanyert anyag a keletkezés helyére tér vissza
- az újra hasznosításból származó anyagok minőségét azonosnak tekinti a nyersanyagéval
- nincs veszteség a hulladékok összegyűjtésekor
- az anyagáramlások nem érintenek biológiai ciklusokat
- a bekerülő anyagáram tömege megegyezik a kikerülő anyagárammal (nincs fogyasztás, égetés), tehát a termék tömeg állandó.

A számításhoz az anyagok és a termék tömegén kívül csupán százalékos értékekre van szükség, de összetettsége a technológia bonyolultságától függ. Ezért részletes ismeretekkel kell rendelkezni az anyagáramokról, azok hasznosítási hatékonyságairól, melyek szükségesek az 1. táblázatban felsorolt egyenletekhez. Egyenletek közti összefüggések értelmezését segíti az 1. ábra grafikai összefoglalója. Felhasznált nyersanyagok össz-tömegének és típusai arányának ismeretében számíthatjuk a friss alapanyagok mennyiségét ( $V$ , kg), melynek mennyisége lineáris terméknél megegyezik a termékbe beépült anyagmennyiséggel ( $M$ , kg). Más esetekben az újrahasznosított nyersanyag arányát ( $F_R$ , %), az újra felhasznált alapanyag arányát ( $F_U$ , %) is figyelembe kell vennünk.

A termék használat utáni célját megvizsgálva meghatározzuk a hasznosíthatatlan hulladék mennyiségét ( $W_0$ , kg). Nem lineáris esetben az újra felhasznált hulladékok arányával ( $C_R$ , %) és az újrahasznosított hulladékok arányával ( $C_U$ , %) is számolunk. A használat utáni célhoz a fogyasztói visszajelzéseket, valamint az ipari átlagokat vesszük figyelembe, nem a tervezési értékeket. Termék újrahasznosított alapanyagának előállításánál keletkező hasznosíthatatlan hulladék tömegét ( $W_F$ , kg) is meg kell határozni, melyet a nyersanyag újrahasznosítási hatékonyságának ( $E_F$ , %) ismeretében számíthatunk. Hasonló módon a termék használatát követő újra hasznosításból származó hasznosíthatatlan hulladék mennyisége ( $W_C$ , kg) is megadható, amennyiben ismerjük a használat utáni újrahasznosítási hatékonyságot ( $E_C$ , %). A hulladéktípusok ismeretében számítható a teljes hasznosíthatatlan hulladék tartalma ( $W$ , kg). A módszertan feltételezi, hogy a termék hasznosítható hányadából a nyersanyagba is kerül és a számítás során az alapanyag duplikációt igyekeznek elkerülni. Ezért a nyersanyagok és a termék elemeinek újrahasznosításából eredő hasznosíthatatlan hulladék mennyiségeit megegyezik.

1. táblázat. Anyagkörkörösség meghatározásának egyenletei  
Table 1. Equations for determining material circularity (MCI)

Paraméter	Eredeti egyenletek	Anyagvesztéssel kiegészített egyenletek
Friss alapanyag	$V = M(1 - F_R - F_U)$	$V' = M'(1 - F'_R - F'_U)$
Nem hasznosítható hulladék tömege	$W_0 = M(1 - C_R - C_U)$	$W'_0 = (M' - M)(1 - C'_R - C'_U)$
	$W_F = M(1 - E_F) \frac{F_R}{E_F}$	$W'_F = (M' - M)(1 - E'_F) \frac{F'_R}{E'_F}$
	$W_C = M(1 - E_C) C_R$	$W'_C = (M' - M)(1 - E'_C) C'_R$
	$W = W_0 + \frac{(W_F + W_C)}{2}$	$W' = W + W'_0 + \frac{(W'_F + W'_C)}{2}$
Hasznossági tényező		$X = L * U$
		$f(X) = \frac{0,9}{X}$
Lineáris áramlási index	$LFI = \frac{(V + W)}{2M + \frac{(W_F - W_C)}{2}}$	$LFI' = \frac{(V' + W')}{2M' + \frac{(W'_F - W'_C)}{2} + \frac{(W'_F - W'_C)}{2}}$
Anyagkörkörösség	$MCI_p = 1 - LFI * f(X)$	$MCI'_p = 1 - LFI' * f(X)$



1. ábra. Az anyagkörkörösségi mutató (MCI) grafikus szemléltetése  
Figure 1. Graphical illustration of MCI calculation

Minden termékre jellemző egy használati élettartam (L) és intenzitás (U), a kettő szorzata adja a termék hasznosságát (X), melyből számítjuk a hasznossági tényezőt (f(X)). Termék élettartamánál nem a tervezett időt vesszük figyelembe, hanem a fogyasztói szokásokat. Ugyanez vonatkozik a funkcionális egységekre, hiszen a terméket rábizzuk a fogyasztókra és azt nem a mi terveink szerint fogják hulladékgyűjtőkbe elhelyezni. Minkét jellemző értéke 0,2 és 10 között adható meg, az ipari átlag 1-t kap. A körkörösségi értéket ez a kettő nagyban befolyásolja, hiszen a termék élettartamának és a használat intenzitásának növelése időarányosan kevesebb hulladékot és alapanyag felhasználást jelent.

A lineárisan áramló anyag mennyisége az anyagáramokból kikerülő hasznosíthatatlan hulladék mennyiségét jelöli, melyet elosztva a teljes tömegárammal megkapjuk a lineáris áramlási indexet (LFI). Az LFI értéke 1 és 0 között mozog, ahol 1 jelenti a teljesen lineáris áramlást, és a 0 érték a teljesen helyreállító áramlást jelöli. A termék alapanyag összetételének megváltoztatásával a lineáris anyagáramlás befolyásolható, a V visszaszorításával az LFI csökkenthető és ezzel összefüggésben az anyag körkörösségi értéke is növelhető. A termék anyagkörkörösségének (MCI<sub>p</sub>) számítását a lineáris áramlási index és a hasznosság ismeretében számíthatjuk. A számítás 0-ban határozza meg a lineáris terméket, azonban f(X) miatt 0,1 az átlagtermék lineáris értéke, és alatta az átlag termékhez képest gyengébben teljesítőket tudjuk osztályozni. Az ipari tevékenységek közül számos olyan létezik, amely a felhasznált alapanyagoknak csupán kis részét építi be a termékbe. A módszertant követve, a módosított anyagkörkörösségi mutató (MCI') számításához az egyenletekbe integráljuk az

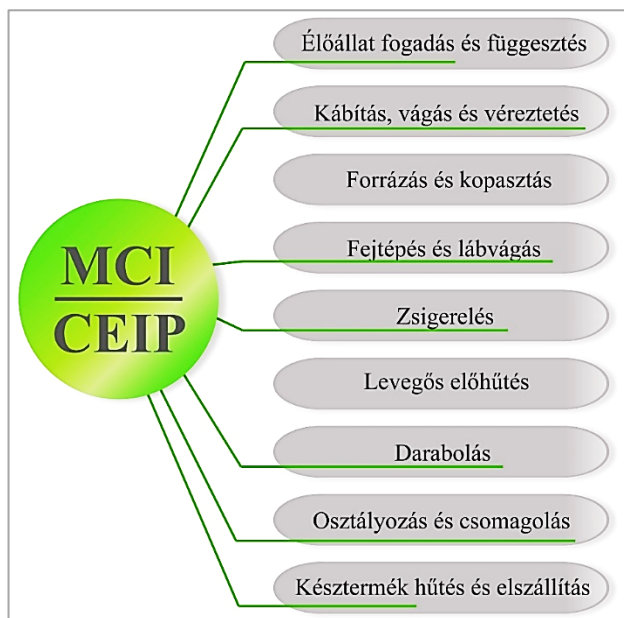
anyagvesztéseket, vagyis a termékhez felhasznált összes nyersanyagra és hulladékra végezzük el a számításokat.

#### FELHASZNÁLT ADATOK

A baromfifeldolgozás magas nyersanyag igényű, mely az emberi célú fogyasztás miatt nem tartalmazhat újra használatból vagy újra hasznosításból származó anyagokat. Mondhatjuk úgy is, hogy a csirke élete lineárisan halad a tojástól a tányérunkig. A beavatkozási lehetőségek igen szűkösek, a csomagolóanyag igény, az állati melléktermékek keletkezése, a kiemelkedő energia- és vízfogyasztás kapcsolódhat a körkörösségi célok javításához. Az egyes figyelembe vett folyamatokat a 2. ábra foglalja össze. Vízfelhasználás az élőállat fogadás és függesztés, kábítás, vágás és véreztetés, a forrázás és kopasztás, hűtési és csomagolási folyamatok során történik, ezek közül a forrázást és levegős előhűtést nem veszi számításba egyik vizsgált mutató alapváltozata sem.

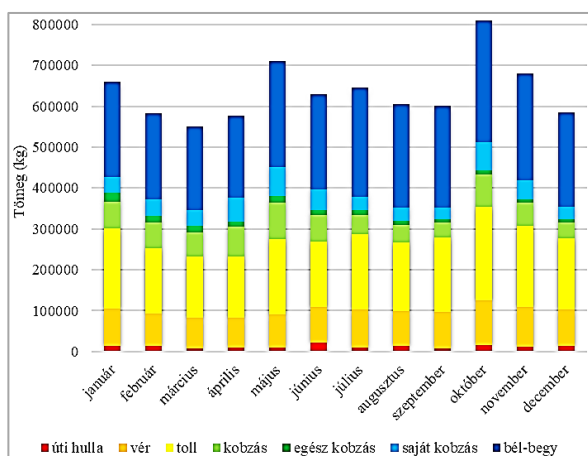
A választott cég termékpalettája nagyon széles és a technológiai sorokat is folyamatosan átalakítják, a három referenciatermék típus szerint. Ennek ellenére mi egy fő termékre végeztük el a számításokat. A termelés legfontosabb eleme a csirke, mint „nyersanyag”. Beszállított brojler csirke szigorú feltételek mellett nevelkedik, alacsony fertőzőtség jellemző rájuk. Ellenőrzött, antibiotikumoktól és állati fehérjéktől mentes hazai brojler takarmányt kapnak. Ennek ellenére a beszállított csirkék között napról napra változó mennyiségű tetem kerül a telepre. A napi termék- és hulladékmennyiséget ez a természetes szelekció szabályozza leginkább. Minden évben eltérő arányban keltenek két különböző méretű és húshozamú brojler csirke típust (Ross-308 és Cobb-500), melyek más-más takarmányfogyasztás és nevelési idő mellett hozzák ugyanazt a

húshozamot. A Ross-308 az egyik legelterjedtebb brojler fajta, amely széles súlyhatárok (1,5-3,8 kg) között nevelhető. A Cobb-500 előnye ezzel szemben, hogy életképebb és 2,5 hónap után vágható. A keltetőben a kezdeti neveltetési darabszámot dokumentálja a vállalat, de a beszálított összetétel és a tetemszám (3. ábra) miatt nem követhető pontosan a Ross-308 és a Cobb-500 tényleges feldolgozott aránya.



2. ábra. Vizsgált indikátorok kapcsolata a baromfifeldolgozás lépéseivel

Figure 2. Relationship of examined indicators with the steps of poultry processing



3. ábra. Állati melléktermékek összetételének változása

Figure 3. Changes in the composition of animal by-products

Termelési alapanyagként tekintjük a brojler mellett a fűszereket és a csomagolóanyagokat. Csomagolóanyagok a termék típusától függően elég változatosak lehetnek. Műanyagból készült fóliákat, fóliazsákokat, nedvszívó betéteket alkalmaznak. A fa alapú anyagok közé sorolhatók a különböző címkék, a kötözőzsinig, a raklap és a karton. Ezen kívül kis mennyiségben használnak klipszeteket.

A baromfifeldolgozás termelési folyamatai magas vízigénnyel működnek (2. táblázat), ezért mi a vizet is alapanyagként tekintettük. Két legnagyobb fogyasztó a kazánház (kb. 40 %) és a forrázás, melyekhez csíramentes vizet használnak fel. A vágási számtól függően a vízigény 340

– 700 m<sup>3</sup>/nap között ingadozik. Két kútból kitermelt vízzel biztosítják a vízellátást a technológiai lépésekhez, a hiányzó mennyiséget közüzemi vízzel pótolják, és tisztító berendezésekkel szabályozzák a minőséget.

2. táblázat. A számítások során felhasznált adatok (Megjegyzés: \* újrahasonosítási hatékonyság (ÚHH), \*\* nincs technológiai veszteség, \*\*\* 5%-ra becsült veszteség)

Table 2. Data used in calculations

(Note: \* recycling efficiency (RE), \*\* no technological loss, \*\*\* estimated loss of 5%)

Megnevezés	Technológiai adatok		
	Mennyiség	ÚHH *	
brojler (Ross-308 és Cobb-500)	32 050 054 kg	80%	
állati melléktermékek	7 635 529 kg		
iszap és egyéb hulladékok	708 620 kg		
fűszer **	28 485 kg		
csomagoló anyagok ***	444 308 kg	71,45%	
vízfogyasztás	163 772 m <sup>3</sup>		
szennyvízkibocsátás	131 646 m <sup>3</sup>	100%	
energia	villamos energia	6 113 MWh	
	földgáz	4 468 MWh	
	motorbenzin	11 MWh	
	gázolaj	3 741 MWh	

Kibocsátott szennyvízként a vízigény 2019-ben a 80,4 %-a távozott a telepről. A különbség oka a magas hőfok okozta párolgás és a kiépített légtisztító berendezések páramentesítő hatása. Továbbá 2-3 %-ot felvesz a feldolgozott hús is, hogy ne száradjon ki a késztermék, ami a vevői elégedettség miatt fontos. A szennyvíz tisztítása már a telepen megkezdődik (flotációs, flokkulációs eljárás), így a csatornába már határértéknek megfelelő minőségű szennyvizet bocsátanak ki (Magyarország Kormánya 2004), melyet lakossági szennyvíztisztító tovább kezel. Az előkezelte víz további tisztítási lépések mellett újrahasonosítható lenne a telepen öntözővízként, szűrkevízként és kazántápvízként. A víz visszaforgatás némi nehézségbe ütközik baromfifeldolgozó technológiában az élelmiszeripari szabályozás miatt. Törvényileg nem tiltott, de a vízminőségi követelmények miatt forrázásra és más brojlerrel érintkező folyamatnál nem használható újra.

A feldolgozási folyamatok magas energia igényűek, melyek 3 szektorra oszlanak: épület, tevékenység és szállítás. A villamos energia és a földgáz felhasználás több mint 80 %-a termelési tevékenységben történik, a maradékot az épületek ellátására fordítják. 100 %-ban a szállítás során használják fel a motorbenzint és a gázolajat. A telephelyen nem termelnek villamos energiát, ezzel szemben jelentős mennyiséget vásárolnak.

A hulladék oldalhoz tartozik az állati melléktermék kategória, mely magába foglalja a tetemként érkező brojlereket és a szalag mellett keletkező emberi fogyasztásra alkalmatlan állati testrészeket. Fel nem használt (maradék) csomagolóanyagok is a hulladékok közé tartoznak, ennél 5 %-os veszteséget vettünk figyelembe. Bevallásuk szerint fűszer hulladékok nincsen, de a feldolgozó sorok takarítása során a szennyvízbe bekerülhet, így a számításokban is jelen van más formában. A csomagolóanyagokhoz használt alapanyagok újrahasonosítási hatékonyságához szakirodalmi adatot (World Economic Forum 2016), míg az állati melléktermékekhez az ATEV 2012-2015 közötti időszak publikált kimutatását használtuk fel (ATEV Fehérjefeldolgozó Zrt. 2018).



## EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

A technológia kialakítása és a rendelkezésre álló adatok figyelembevételével végeztük el a számításokat mindkét mutató esetében. Az eredeti és a módosított számításokat mindig egyedileg végeztük el, de az összehasonlíthatóság kedvéért azonos jelöléssel láttuk el őket. Az eredeti módszertanok szerint elvégzett számításokhoz az alábbi eseteket vettük figyelembe:

- N: alapállapot
- NP: 100 %-ban újrahasznosított csomagoló anyagokat alkalmaznak.

Vízvonallal kiegészített számításoknál vizsgált esetek:

- W: alapállapot a víz alapanyagként való alkalmazásakor
- WP: 100 %-ban újrahasznosított csomagoló anyagokat alkalmaznak
- W50: keletkezett szennyvíz 50 %-át visszaforgattuk a természetes vízkörbe
- W100: keletkezett szennyvíz 100 %-át visszaforgattuk a természetes vízkörbe
- WM: elérhető maximális körköröségi érték (100 %-ban újrahasznosított csomagoló anyagokat alkalmaznak és a keletkezett szennyvíz 100 %-át visszaforgattuk a természetes vízkörbe)
- WR: keletkezett szennyvíz 100 %-át visszaforgattuk a természetes vízkörbe és 50 %-kal kisebb vízfelhasználás.

### „CE indicator prototype” számítása

Az eredeti módszertant felhasználva 2 esetet vizsgáltunk meg, melyek nem tartalmazzák a vízvonali adatokat. A számítások során úgy láttuk, hogy két kérdés nem alkalmazható a termék típusára:

- A jelenlegi termék össztömege kisebb, mint a korábbi terméké? („*Is the product lighter than its previous version?*”) – 2 pont
- Bérleti rendszer kialakítható a termék esetében? („*Is there a rental option for the product?*”) – 15 pont.

Ezért az elérhető maximális pontszám 135 lett. Maximális pontszámában eltérés nem lehet, mivel a termék típusa változatlan a különböző esetekre.

Az N eset (3. táblázat) 0,163-as (gyenge) körköröségi értéket kapott. Az eredmények azt mutatják, hogy termékünk lineáris jellegű, ahogyan azt egy fogyasztási cikktől várjuk. Gyártási vonalánál mutatható ki jelentős mértékű körforgás, a csomagolóanyag visszaforgatás (NP eset) csekély 2 ponttal többet ért el a „Kereskedelem” kategóriában, így 0,178-ra növekedett a CEIP értéke. Ez a változás nem motiváló egy lineáris technológiánál, amely a körköröségi céljait készíti elő.

3. táblázat. CEIP eredményeinek bemutatása N esetben

Table 3. Presentation of CEIP results for case N

Életciklus	Elért	Elérhető	Értékelés	
Tervezés/Újratervezés	5	25	0,200	Gyenge
Gyártás	17	25	0,680	Nagyon jó
Kereskedelem	0	15	0,000	Gyenge
Használatban	0	35	0,000	Gyenge
Használatot követően	0	35	0,000	Gyenge
Σ	22	135	0,163	Gyenge

A CEIP metodikája alapján nem elegendően rugalmas a válaszadás, nem érdemes termelési éveket összehasonlítani. Alapvető probléma, hogy csak a pozitív eseteket lehet megkülönböztetni, a romló minőséget nem veszi figyelembe. Ez a különböző évek teljesítményének összehasonlításakor problémát okoz.

Kiegészítettük a gyártási részt 4 kérdéssel, melyek figyelembe veszik a vizet, mint alapanyagot:

- Q16 - Rendezésre áll vízhasználatról kimutatás? (2+15)
- Q17 - Alkalmaznak vízcsökkentési tervet? (10+5)
- Q18 - Történik szennyvíz újrahasznosítás? (2+15)
- Q19 - Van esővíz visszatartásra és hasznosításra kiépített rendszer? (5)

A vízhasználatnál bónusz pontokat adtunk a víz újrahasznosítására (Q16), 10%-ként súlyozott értékekkel. Értékeltek a vízhasználat visszaszorítására irányuló terveket (Q17), meglévő rendszernél pontokat adományoztunk a megtakarítás mértékére. Alkalmaztunk büntetőpontot (-2) arra az esetre, ha a vízhasználat megnövekedik az előző évhez képest. A visszaforgatás mellett nagy hangsúlyt fektettünk a szennyvíz sorsára (Q18). A jelenlegi magyar élelmiszeripari szabályozás nem támogatja a szennyvíz visszaforgatást, azonban azt más célokra is felhasználhatjuk, melyek ugyanúgy értéket képviselnek. Különbséget tettünk a hasznosítás célja között, például a kommunális, a technológiai és az öntözéses újrahasználat között. Az előtisztítást és a jövőbeli szennyvízhasznosítási tervet alacsony pontszámmal, de jutalmaztuk. A negyedik kérdés (Q19) az esővíz visszatartást rangsorolja, hasonló módon, mint a víz visszaforgatást. A pontok az elérhető maximális pontszámot 189-re emelik az esettanulmányunkra (minden kérdést figyelembe véve maximum 206 érhető el).

4. táblázat. CEIP eredménye a különböző esetekre  
Table 4. CEIP result for different cases

	Elért	Értékelés	
W	38	0,201	Elfogadható
WP	40	0,212	Elfogadható
W100	70	0,370	Elfogadható
WM	72	0,381	Elfogadható

Az új kérdések bevezetése lehetővé teszi az eltérő tulajdonságú évek összehasonlítását, de a változás továbbra sem érinti az anyagáramokra vonatkozó kérdéseket, ezért a büntető pont bevezetését érdemes ott is megfontolni. A „Gyenge” minőségből a vízvonali kérdéseivel az „Elfogadható” kategóriába ugrott az esettanulmányunk. Annak ellenére, hogy a termék linearitása csekély mértékben változott, irányt mutathat a vezetőségnek a fejlődés felé. Az eredmények azt mutatják, hogy a víz figyelembevételével javítható a körforgás mértéke, és a visszaforgatása is jelentős javulást okoz. Vízhasználat monitorozással hosszú távon a felhasznált víz mennyisége optimalizálható, ami erőteljes javulást okoz. A meglévő szennyvíz előtisztítás továbbfejlesztése is hozzájárul a körköröségi fokozásához. A gyártási kérdéseknél megközelítően teljes körköröséget tudnának elérni, ha alternatív energiaforrások használatára is átállnának a víz visszaforgatás alkalmazása mellett. A csomagolóanyagok visszaforgatása a WP és a

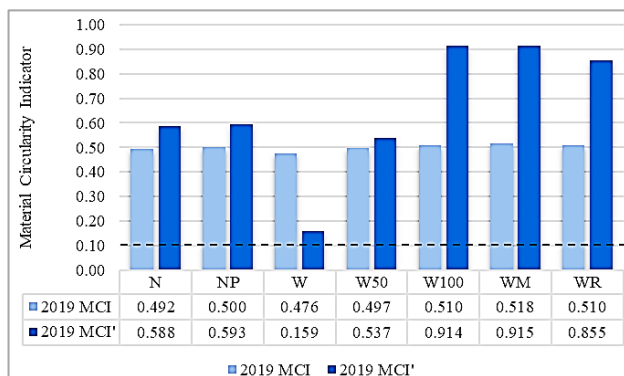
WM esetekben egyaránt minimális emelkedést mutat, ahogyan azt az eredeti módszertannál tapasztaltuk. Ez a változás továbbra sem motiváló egy körköröségi felé fordulást tervező vállalatnál.

A mutató az átalakításokkal alkalmassá tehető a víz-vonalelemzésre, és a különböző évek összehasonlítására. Ennek ellenére nem találjuk alkalmasnak a folyamatos fejlesztésre, inkább a körforgásos irányok meghatározására, előtanulmányként alkalmazható. Ahogyan az eredeti módszertannál, a módosításokkal is az egymástól jól elkülöníthető összetételű termékek összehasonlítása végezhető el precízebben. Jól követhető anyagáramok mellett a termék körforgásos értékének javítására javaslatokat is tartalmaz azáltal, hogy a víz-fogyasztás csökkentésére való igényt méri fel. Fogyasztási cikkekre ebben a formában sem ideális mutató, több kérdést javasolt lenne a felhasználás céljának megfelelően alkalmazni, például a „Használatban” és a „Használat után” életszakaszok esetében.

#### Anyagköröségi mértékének számítása

Az anyagköröségi számításokat a kérdőíves mutató tapasztalataira építve végeztük el. Mivel a brojler feldolgozás magas alapanyagigényű és ebből a termékbe jelentős mennyiség nem épül be, ezért összehasonlítottuk minden esetben, hogy egy ilyen technológiának mekkora szüksége van az anyagvesztések kiegészítő számítására. Ezt az érzékeny elemzést a vízvonala adataival kiegészítve még részletgazdagabbá tettük.

A fogyasztási szokások határozzák meg a csomagolóanyagok és a fűszerek felhasznált mennyiségét a termékek jellegéből adódóan, de ez minimális hatást gyakorol a mutatóra normál és anyagvesztés módban egyaránt (4. ábra). A felhasznált nyersanyagok mindegyike a jelenlegi szabályozásnak megfelelően friss forrásból származik. Ezért az MCI érték egy köztes állapotot kapott, ami a lineáris és a körkörös állapot között van félúton. Ezen változtatni nem lehet, hiszen a termékbe beépült nyersanyag 95,1 %-a brojler, tehát lineáris nyersanyag. Az MCI' érték ennél magasabb, mert a termékbe be nem épülő anyagok az újrahasznosítás miatt növelik a körköröségi mértékét.



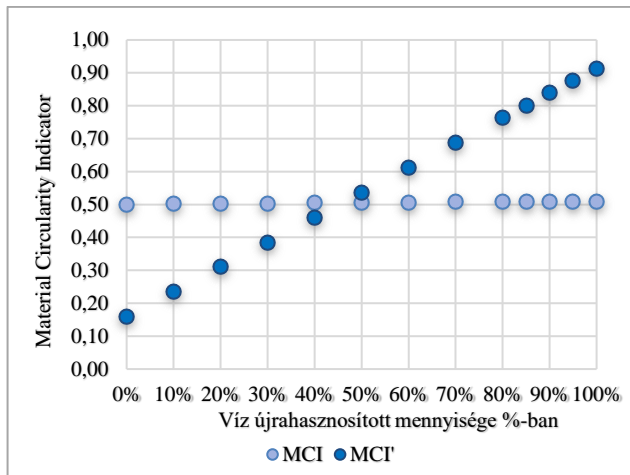
4. ábra. Körköröségi értékének változása különböző eseteket vizsgálva

Figure 4. Changes in the value of circularity for different cases

Nem motiváló a termék 1,8 %-os csomagolóanyagtartalmának újrahasznosítása, de érdemes megfontolni a vevői elégedettség miatt. Veszteségszámításra jobb körköröségi érték érhető el, az állati melléktermékek hasznosítása miatt. Az anyagáramok egy része (fűszer és brojler) az emberi testben hasznosul tápanyagként, de a számolások nem veszik figyelembe a biológiai ciklust, ehelyett egy „egyszerű használati tárgyként” funkcionálnak. Ezzel kikerüli a fogyasztói szokásokat, illetve a kereskedelmi veszteségekkel (pl. lejárt termék) sem számol. Ez alapján az újrahasznosított hulladékok kezelésénél alkategóriákat kéne kialakítani, melyek kezelik az emberi tényezőt. Ennek a „hibának” a kiküszöbölése az anyagvesztés módjánál jelentkezhet negatív irányú változással, ami a hulladékkezelés humán tényezőjéből adódik.

Az eredeti módszertanban a víz, mint közvetítő közeg jelenik meg. A módosított mutatóba beillesztettük a vizet a nyersanyagok közé. Az összehasonlíthatóság miatt a vízre is a tömeget vettük figyelembe (tisztá víz sűrűségével számítva). A számítás menete nem követeli meg az újrahasználat helyének meghatározását az anyagáramok mellett, ezért nem hasonlítottuk össze az öntözéses és a technológiai célú visszaforgatást. Az MCI értéke 2019-es adatokra -3,26 %-ot változott. A termék össztömege szinte változatlan (25 963 730 kg → 25 662 024 kg), de 3 %-os víztartalma számításra kerül a nyersanyag és a hulladék oldalon egyaránt, növelve a hasznosíthatatlan anyagok és nyersanyagok mennyiségét. Az anyagvesztés kiegészítésével lineárishoz közelítő értéket kap a technológia. Ez sokkal inkább leírja a jelenlegi húsfeldolgozás jellegét azáltal, hogy rámutat a technológia pazarló oldalára. Az anyagvesztés mód figyelembe veszi, hogy a teljes felhasznált nyersanyagmennyiség több mint 80 %-a víz, ami jelentősen növeli a hasznosíthatatlan hulladék (8 % → 46 %) mennyiségét.

A W, W50 és W100 esetek eredményeinek értelmezéséhez a víz újrahasznosítást tovább vizsgáltuk (5. ábra), hogy 0 % és 100 % között újrahasznált szennyvízre mennyire érzékeny az anyagköröségi mutató. Az alapszámításoknál az MCI érték alig látható (max. +3 %-os) emelkedést mutat, ami egyenes összefüggésben van a termékben megtalálható 3 %-os víztartalommal. Az anyagvesztések figyelembevételével látványos javulás érhető el. MCI' maximuma 0,915 (WM eset), azonban nem érheti el az ideális 1-es értéket, egyrészt a brojler és a fűszer alapanyagként való felhasználása, másrészt a technológia során jelentkező párolgási veszteség miatt (friss víz igény). Érdekes, hogy a mutató nem értékeli a víz megtakarítást. A nyersanyag megtakarítás ennél a módszernél a technológiában hátránnyként jelentkezik. Húsfeldolgozás szempontjából, a felhasználás ideje (élettartama) nem a termék minőségétől függ, vagyis az alkalmazás intenzitása (f(X)) fogyasztási termékre nem értelmezhető, ennek ellenére a módszer megkövetel egy alsó határértéket. Ennek eredeti célja, hogy a teljesen lineáris termékeket a 0 és 0,1 közötti tartományban össze lehessen hasonlítani.



5. ábra. MCI és MCI' értékeinek változása különböző víz újrahasznosítási arányok felhasználásával  
Figure 5. Changes in MCI and MCI' values using different water recycling rates

Láthatjuk, hogy minél lineárisabb állapotot vizsgálunk (6. ábra), annál nagyobb eltérést érünk el az alsóhatár módosításával. Az eredeti számítási módnál a 0-ás és 5 százalós alsó határérték módosítások legalább 5,2 %-os és legfeljebb 12,2 %-os eltérést okoznak a körkörösség értékében. A veszteségek figyelembevételével, sokkal érzékenyebb a mutató minden esetben. Lineáris vízhasználatnál jelentősen befolyásolja a körkörösség értékét az alsó határ meghatározása. Az értékelést végző személy és az általa informált vezetőség elhivatottságát csökkenti a körkörösség felé vezető úton, ha az abszolút minimumot jelöljük ki. Míg a tartós termékeknél a technológiánk érzékenysége és a versenytársakkal való összehasonlítás miatt fontos, a fogyasztási cikkeknel pszichológiai szempontból jó döntés az 1 tizedes értéken tartani a lineáris termék határát.

### MUTATÓK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

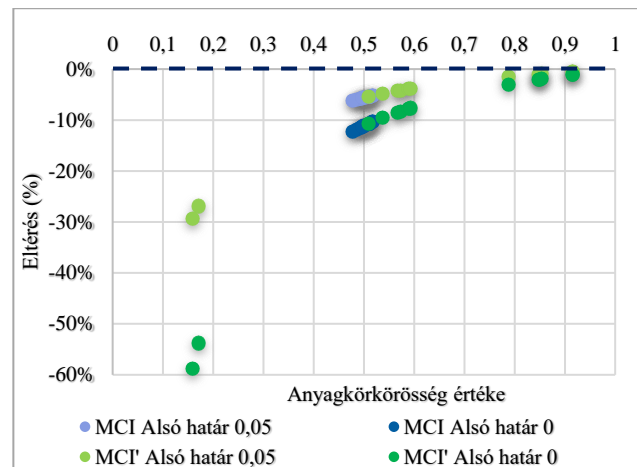
Az általunk vizsgált vállalat 3 terméktípust (marinált, vákuumozott és tálcás termékeket) állít elő, azonban egyik termékvonalat se dokumentálják külön-külön, például a beépülő alapanyagok tekintetében. Az MCI módszertana a referencia termékek kiválasztását javasolja, ennek ellenére

5. táblázat. Eredmények összesítése  
Table 5. Summary of results

	N	NP	W	WP	W50	W100	WM	WR
CEIP	0,163	0,178	0,201	0,212		0,370	0,381	
MCI	0,492	0,500	0,476		0,497	0,510	0,518	0,510
MCI'	0,588	0,593	0,159		0,537	0,914	0,915	0,855

Mindkét mutatót ipari szereplőkre tervezték, a CEIP és az MCI módosítása közepes nehézségű, mivel a termék élelciklusokhoz szorosan kapcsolódnak. Az elemzés mélysége széles skálán mozog. A CEIP nem alkalmas precíz (pl. évek) összehasonlításra, míg az MCI részletessége miatt a finom változások jobban követhetők. Ez alapvetően meghatározza a felhasználói bázist. Utóbbi esetben nehézséget okozott számokban kifejezni a biológiai ciklust (emberi fogyasztás), így azt az állapotot vizsgáltuk, mikor a termék elemekre bontva újra hasznosításra kerül. Mindkét körforgásos mutató alkalmazható nano- és mikroszinten. Az energiafelhasználás mérésében az MCI teljesít gyengén, mert nem sorolja az alapanyagok közé.

egy átlagtermékre is elvégezhető a számítás. Hasonlóképpen rugalmas a CEIP is. Korlátozott mértékben fogyasztási termék esetében is alkalmazható mindkét számítási módszer, és az azonos esetek vizsgálata rámutat a mutatók közti eltérésre.



6. ábra. Alsó határ kiválasztásának a hatása a körkörösség mértékére  
Figure 6. The effect of selecting a lower bound on the degree of circularity

Az eredményeket áttekintve (5. táblázat) a vízfelhasználás beépítésével jobban leírható a baromfifeldolgozás körforgásban való elhelyezkedése. A CEIP az eredeti számítások szerint alul becsüli a technológiát a módosítással szemben, de nem engedi, hogy az elemzés során túlbecsüljük a terméket az életciklus szemlélet miatt. Az MCI ezzel szemben egy köztes állapotot ír le, mert a mutató a fogyasztási cikkek is használati eszközként kezeli, és nem veszi figyelembe az emberi tényezőt, a termék sorsát. A „megveszem és eldobom” megközelítés helyett a számításnak meg kéne adni a lehetőséget a szorosabb kapcsolódásra a biológiai ciklushoz. A vízáram felhasználása egy lépést jelent felé, a körkörösség értékének romlása jól kifejezi ennek a technológiának a pazarló oldalát, ezáltal összhangba kerül a CEIP eredményével is. Nem véletlenül, mert a CEIP az MCI szempontok figyelembevételével készült.

Ezért kiegészítő számításokat javasolt mellé alkalmazni, illetve a módszertan újragondolását érdemes megfontolni. A mutatók rámutatnak a beavatkozási pontokra, még az alacsony adatigényű CEIP esetében is.

Az élelmiszeriparra jellemző szigorú higiénés előírások a technológián belüli visszaforgatás jelentős kihívást jelent, azonban a vízkör kialakítását mezo- vagy makroszinten is érdemes megvizsgálni. Mezőgazdasági öntözővízként hasznosítva a felhasznált frissvíz mennyiségét csökkenthetjük, ha például a brojler tápok öntözéséhez alkalmazzuk. Ezáltal a kimeneti oldal körkörösségét növeljük a vizsgált szervezetnél, és egy másik gazdasági szerep

lőnél a bemeneti oldal javulhat. Ezért fontos az ágazatok közti kapcsolódási pontok feltérképezése, majd az ipari szimbiózis kialakítása. A CEIP jól idomul ehhez a szemlélethez, a kérdésfelelet útján nagyobb a szabadságunk, és célfelhasználói területet is választhatunk, ha a folyamatos fejlődés mellett döntenek. Teljes körforgásosság azonban fogyasztási termékeknél nem elvárható, mivel a termék alapanyaga „használat” után nem visszaforgatható. Mindkét számításnál megmutatkozik, hogy a termelésnek és a termék sorsának minden eleme fontos. Például az MCI a termékbe beépülő 3%-os víztartalom miatt nem képes az átmeneti állapottól kiszabadulni, míg a veszteségeket figyelembe véve a teljes körforgásosság megközelíthetővé válik (0,915).

A számítások megmutatták, hogy a mutatókat eredetileg nem fogyasztási, hanem tartós termékekre tervezték. Ennek ellenére kismértékű átalakítással alkalmassá válhatnak a vízkör mérésére, melyhez célszerű a mutatók előnyös tulajdonságait kombinálni.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A fenntartható fejlődés szem előtt tartása mellett a körforgásos gazdaságra való törekvést ösztönöznünk kell minden ipari szektorban, melynek kiváló eszközei a szabadon hozzáférhető mutatók. Ennek ellenére felhasználhatóságuk korlátozott, többségük a termelőiparban könnyebben alkalmazható. A mikroszintű indikátorok az alapját képezik egy komplex rendszernek, mely az Ipar 4.0 és a körforgásos gazdaság összefonódását jelenti. Ha e kettő összekapcsolódása megtörténne, a fenntarthatósági célok is hatékonyabban teljesülnének. Ennek az útnak az elején járunk, ezt mutatja a mi esettanulmányunk is, mely a fogyasztási cikkek és az alapanyagoknak tekintett víz oldaláról közelíti meg a körforgásos gazdaság megvalósítását és mérését.

A lineáris gazdaságból való kiugrás az élelmiszeripar területén a legnehezebb feladat, melyet számításaink is alátámasztanak. A biológiai ciklus számokban nem vagy nehezen kifejezhető, a fogyasztási szokások minden esetben kismértékű bizonytalanságot adnak az eredményekhez, de az emberi tényezőt nem hagyhatjuk ki az egyenletekből. Az általunk vizsgált mutatók mindegyike jól mutatja, hogy a technológiába azon a ponton érdemes beavatkozni, mely a legnagyobb mértékben járul hozzá a körforgás javulásához. Például a csomagolóanyagok újrahasznosítása inkább PR értékkel rendelkezik, míg a vízfogyasztás visszaszorítása, a hulladékok újrahasználatára és újrahasznosítására látványos eredményt hozhat, de nem következik belőle a fogyasztók fenntarthatóbb termékek felé fordulása. Ugyanígy befolyásolja a számításainkat, hogy hol húzzuk meg a rendszerhatárokat.

Javasoljuk, hogy a különböző módszereket kombinálva alkalmazzuk, így részletgazdagabb és valóságosabb pontosabban leíró eredményeket kapunk. Ezt támasztja alá a CEIP és az MCI módosítása is, mert a víz bevonása csökkenti a körforgás mértékét, ezáltal jobban szemlélteti az élelmiszeripar lineáris jellegét. Az eltérő esetek tanulmányozása rámutatott, hogy a CEIP önmagában nem alkalmas a finom változtatások bemutatására. Az MCI számításai ezzel szemben a termékfejlesztés kisebb változásait is képes kezelni, de az élelmiszeripari technológiáknál az

anyagvesztések kiegészítésével javasoljuk elvégezni az összehasonlításokat. Továbbá hiányosságnak tekintettük, hogy ebbe a mutatóba az energia vonal sincs beillesztve, ami tovább növelné a felhasználási szabadságot.

Az eredményeink alapján javasoljuk, hogy a mutatókat olyan formában fejlesszék tovább, melybe integrálhatók azok az elemek is, melyek egy-egy szektor számára kiemelt jelentőségűek. Például a fogyasztási szokások, vízfelhasználás, energiateljesítmény, a biológiai és a környezeti feltételek.

## IRODALOMJEGYZÉK

*ATEV Fehérjefeldolgozó Zrt.* (2018). 54338-9-40/2018. számú Egységes Környezethasználati Engedély <http://www.atev.hu/>

*Bahn-Walkowiak, B., S. Steger* (2015). Resource Targets in Europe and Worldwide: An Overview. *Resources*, Volume 4(3), pp. 597-620.

*Bassia, F., J. G. Dias* (2019). The use of circular economy practices in SMEs across the EU. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 146, pp. 523-533.

*Cayzer, S., P. Griffiths, V. Beghetto* (2017). Design of indicators for measuring product performance in the circular economy. *International Journal of Sustainable Engineering*, Volume 10, pp. 289-298.

*Circle Economy* (2018). The CIRCULARITY GAP report - An analysis of the circular state of the global economy. [https://bfc732f7-80e9-4ba1-b429-7f76cf51627b.filesusr.com/ugd/ad6e59\\_c497492e589c4307987017f04d7af864.pdf](https://bfc732f7-80e9-4ba1-b429-7f76cf51627b.filesusr.com/ugd/ad6e59_c497492e589c4307987017f04d7af864.pdf)

*Circle Economy* (2019). The CIRCULARITY GAP report - An analysis of the circular state of the global economy. <https://www.legacy.circularity-gap.world/>

*Circle Economy* (2020). The CIRCULARITY GAP report - An analysis of the circular state of the global economy. [https://assets.website-files.com/5e185aa4d27bcf348400ed82/5e26ead616b6d1d157ff4293\\_20200120%20-%20CGR%20Global%20-%20Report%20web%20single%20page%20-%20210x297mm%20-%20compressed.pdf](https://assets.website-files.com/5e185aa4d27bcf348400ed82/5e26ead616b6d1d157ff4293_20200120%20-%20CGR%20Global%20-%20Report%20web%20single%20page%20-%20210x297mm%20-%20compressed.pdf)

*Circle Economy* (2021). The CIRCULARITY GAP report - An analysis of the circular state of the global economy. <https://www.circularity-gap.world/2021>

*de Oliveira, C. T., T. E. T. Dantas, S. R. Soares* (2021). Nano and micro level circular economy indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments. *Sustainable Production and Consumption*, Volume 26, pp. 455-468.

*Ellen MacArthur Foundation* (2016). The Circular Design Guide. <http://circulardesignguide.com/>

*European Commission* (2015). Closing the Loop - an EU Action Plan for the Circular Economy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>

*Government of China* (2008). Circular Economy Promotion Law. <http://www.lawinfochina.com/display.aspx?id=7025&lib=law>

*Jabbour, A. B. L. d. S., C. J. C. Jabbour, C. Foropon, M. Godinho Filho* (2018). When titans meet – Can industry 4.0

revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 132. kötet, pp. 18-25.

*Jawahir, I. S., R. Bradley* (2016). Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing. *Procedia CIRP*, Volume 40, pp. 103-108.

*Jones, T. E.* (1977). CURRENT PROSPECTS OF SUSTAINABLE ECONOMIC GROWTH. In: *Studies on the Conceptual Foundations, The Original Background Papers for Goals for Mankind*. s.l.:Pergamon, pp. 117-179.

*Kristensen, H. S., M. A. Mosgaard* (2020). A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? *Journal of Cleaner Production*, 243. kötet.

*Lieder, M., A. Rashid* (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, Volume 115, pp. 36-51.

*Magyarország Kormánya* (2004). 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízzennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól.

<https://net.jogtar.hu/getpdf?docid=a0400028.kvv&targetdate=&printTitle=28/2004.+%28XII.+25.%29+KvVM+rendelet>

*Magyarország Kormánya* (2012). 45/2012. (V. 8.) VM rendelet a nem emberi fogyasztásra szánt állati eredetű melléktermékekre vonatkozó állategészségügyi szabályok megállapításáról.

[http://njt.hu/cgi\\_bin/njt\\_doc.cgi?docid=148555.343045](http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=148555.343045)

*Manavalana, E., K. Jayakrishna* (2019). An Analysis on Sustainable Supply Chain for Circular Economy. *Procedia Manufacturing*, Volume 33, pp. 477-484.

*Michelini, G., R. N. Moraes, J. M.H. Costa, A. R. Ometto* (2017). From Linear to Circular Economy: PSS Conducting the Transition. *Procedia CIRP*, Volume 64, pp. 2-6.

*Moraga, G., S. Huysveld, F. Mathieux, G. A. Blengini, L. Alaerts, K. Van Acker, S. de Meester, J. Dewulf* (2019). Circular economy indicators: What do they measure?. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 146, pp. 452-461.

*Saidani, M., B. Yannou, Y. Leroy, F. Cluzel, A. Kendall* (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, Volume 207, pp. 542-559.

*Santagata, R., M. Ripa, A. Genovese, S. Ulgiati* (2021). Food waste recovery pathways: Challenges and opportunities for an emerging bio-based circular economy. A systematic review and an assessment. *Journal of Cleaner Production*, 286. kötet, p. 125490.

*Toop, T. A., S. Ward, T. Oldfield, M. Hull, M. E. Kirby, M. K. Theodorou* (2017). AgroCycle – developing a circular economy in agriculture. *Energy Procedia*, Volume 123, pp. 76-80.

*Tseng, M.-L., R. R. Tan, A. S. F. Chiu, C.-F. Chien, T. C. Kuo* (2018). Circular economy meets industry 4.0: Can big data drive industrial symbiosis? *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 131, pp. 146-147.

*Tseng, M.-L., A. S. F. Chiu, C.-F. Chien, R. R. Tan* (2019). Pathways and barriers to circularity in food systems. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 143, pp. 236-237.

*United Nations* (2015). Sustainable Development Goals. <https://sdgs.un.org/goals>

*Van Zanten, H. H. E., M. K. Van Ittersum, I. J. M. De Boer* (2019). The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*, Volume 21, pp. 18-22.

*World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation & McKinsey & Company* (2016). The New Plastics Economy — Rethinking the future of plastics. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>

*Xue, Y., W. Luan, H. Wang, Y. Yang* (2019). Environmental and economic benefits of carbon emission reduction in animal husbandry via the circular economy: Case study of pig farming in Liaoning, China. *Journal of Cleaner Production*, Volume 238.

## A SZERZŐK



**HARASZTINÉ HARGITAI RÉKA** környezetmérnök, a Pannon Egyetem Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratóriumának tagja és PhD hallgatója. Fő szakterülete a szennyvíztisztítási technológiák. PhD hallgatóként kutatási témájában a körforgásos (víz)gazdaság kialakításának lehetőségeit vizsgálja.



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

## Az integrált digitális vízgazdálkodás és a körkörös gazdaság kapcsolata

Ilcsik Csaba\* és Major Veronika\*\*

\* Waterscope Zrt. 1116 Budapest, Kondorosi út 2/a. (E-mail: [info@waterscope.eu](mailto:info@waterscope.eu))

\*\* Magyar Víz-és Szennyvíztechnikai Szövetség. 1046 Budapest, Kiss Ernő utca 3/a. (E-mail: [vera@botondok.hu](mailto:vera@botondok.hu))

### Kivonat

Ursula Von der Leyen, Európai Bizottság elnöke az Unió helyzetének értékeléséről tartott beszédében (*Von der Leyen 2020*) leszögezte: Európa megújulásának záloga a zöld és digitális kettős átállás, vagyis az ikerátmenet. A zöld gazdaság létrehozásának kulcs-eleme a vízszektor, mely az integrált digitális vízgazdálkodás segítségével támogatja az ikerátmenetet. A közművek átalakítása az adatgazdag környezetből tudásgazdag környezetbe, a digitális technológiák alkalmazása, az erőforrások elosztása és rangsorolása, előrejelzés elemzés (pl. eszközhiba előrejelzése), a mesterséges intelligencia, a kiterjesztett és virtuális valóság (pl. víziközmű -karbantartás és -képzés) és a kiberbiztonság biztosítja az eszközöket ahhoz, hogy megalapozzuk az integrált digitális vízgazdálkodást, megerősítve a zöld átállást.

### Kulcsszavak

Körkörös gazdaság, digitális vízgazdálkodás.

## The relationship between integrated digital water management and the circular economy

### Abstract

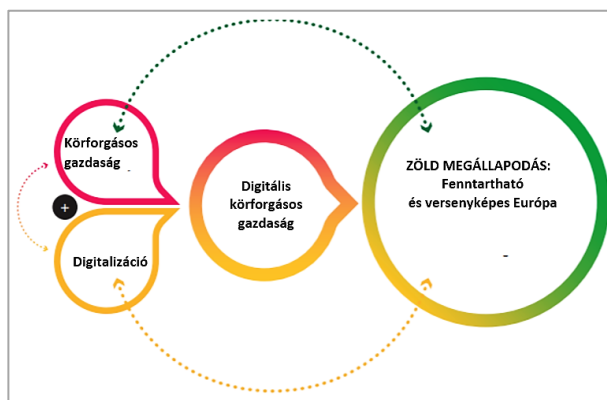
Ursula Von der Leyen, President of European Union (*Von der Leyen 2020*) stated that the key to Europe's renewal is the twin green and digital transition, namely the twin transition. A key element in developing a green economy is the water sector, which supports the twin transition through integrated digital water management. The transformation for utilities is a migration from a data-rich environment to more of a knowledge-rich environment. Digital technology applications such as remote sensing, asset management (operation and maintenance), resources allocation and prioritization, customer engagement, predictive analytics (e.g. asset failure prediction), artificial intelligence, augmented and virtual reality (e.g. water utility maintenance and training) and cybersecurity provide the means to advance the integrated digital water management, forcing the green transition.

### Keywords

Circular economy, digital water management.

### BEVEZETÉS

A digitális transzformáció egyre inkább átszövi gazdaságunk és társadalmunk minden ágazatát. A digitalizáció, mint a gazdaság hajtóereje, hatékonyabb erőforrás-gazdálkodást, fenntartható fogyasztási és termelési modelleket, eredményesebb oktatást és szolgáltatásokat valósít meg, egyszóval eszközrendszerrel szolgáltat a körkörös gazdasági modell fejlődéséhez, megnyitva az utat a digitális körkörös gazdaság fele (1. ábra) (*European Police Center 2020*).



1. ábra. A körkörös gazdaság és digitalizáció összefonódása: a digitális körkörös gazdaság  
(Forrás: *European Police Center 2020*)

Figure 1. The intertwining of the circular economy and digitalization: the digital circular economy  
(Source: *European Police Center 2020*)

A körkörös gazdaság célja az erőforrások felhasználásának optimalizálása a gazdaságon belül, a digitalizáció pedig, mint a körkörös megoldások hajtóereje, hatékonyabb folyamatokat tesz lehetővé a termelésben és a fogyasztásban egyaránt (*Deloitte 2019*).

A digitalizáció katalizátorként működik a vízipar számára az innováció és a tudásmegosztás terén, platformot biztosítva a digitális megoldások kifejlesztésére és bevezetésére (*IWA 2021*).

### ADATBÓL INFORMÁCIÓ

A digitális technológia kulcsfontosságú eleme az adat, amely gyakorlatilag minden területről gyűjthető, az időjárástól a csapvíz minőségéig, de információ csak a megfelelő összefüggések átgondolását és elemzését követően születik belőle.

Itt álljunk meg egy gondolat erejéig! Van egy-két olyan fontos kifejezés, mint az „adat”, az „újra elemezhető”, a „digitálisan tárolható”, melyeket tisztázni kell. Az „adat” nem egyenlő az információval, mivel az adatok egy bizonyos mennyiségéből, a kontextusból együttesen nyerhető ki az információ. A jó elemző képesség nem az adatok ismerete, hanem a megfelelő adatok, minták, trendek megfigyelése, kiemelése és az összefüggésekben gondolkodás képessége.

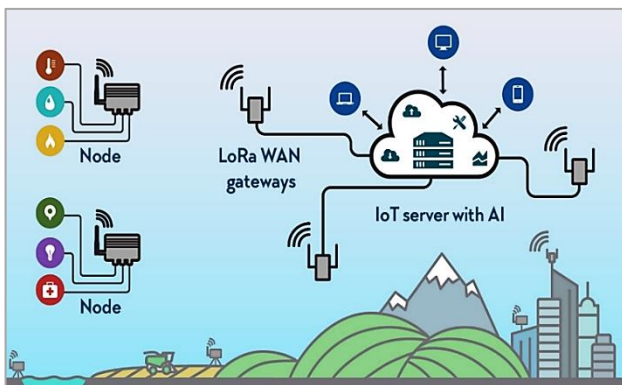
„Újra elemezhetőség”: Az adatok halmazán végzett műveletek megismételhetősége azért játszik kiemelt szere-

pet a digitális világban, mert ahogy újabb összefüggéseket fedeznek fel a szakemberek, a modellek, az algoritmusok módosíthatóak, finomíthatóak és egyre pontosabb képet fognak mutatni a múlt alapján a jövőről.

A „digitális tárolhatóság” nem egyenlő a digitalizált, szkennelt dokumentumokkal, mivel nem képi adatok tárolásáról beszélünk, hanem valóban digitális formában keletkezett adatokról, melyek több szinten is értelmezhetőek.

A mérések során az egyes szenzorok egy adott módszerrel valamilyen villamos úton mérhető jelet adnak ki, mely villamos jelet egy digitális jelfeldolgozó egység értelmezi, majd továbbítja, tárolja és tulajdonképpen lefordítja a felhasználó számára értelmezhető adattá.

A szenzoros mérések lehetnek közvetlen mérések és közvetett mérések egyaránt, és egy bizonyos paraméter mérés több különböző módszerrel is elvégezhető, ám az eredmény minden esetben értelmezhető digitálisan, azaz minden esetben szükséges egy analóg digitális átalakítás. Tévhit, hogy ez nem szükséges egy digitálisan működő szenzor esetében, csak annyi a különbség, hogy az átalakítás, a konverzió már hamarabb megtörténik, ugyanis a szenzor belső rendszere képes az átalakításra. Amennyiben ezeket a jeleket digitális formába transzformáltuk, a jelek könnyen továbbíthatók a jelenlegi kommunikációs rendszerekkel. A teljesség igénye nélkül elmondható, hogy a vezetékes kommunikáció sokfélesége mellett egyre több új rádióhullámot használó technológia áll rendelkezésre az adattovábbításra, és általánosságban igaz, hogy ezek a technológiák csupán néhány dologban különböznek egymástól. A legalapvetőbb a különbségek a továbbítást segítő, úgynevezett vivő jel frekvenciája, a jel kódolásának módja, az átvivő technológia sávszélessége és még egy sor olyan paraméter, amelyek ismerete mélyebb szakmai tudást igényel (2. ábra).



2. ábra. LoRa WAN hálózat felépítése  
(Forrás: saját infografika)  
Figure 2. LoRa WAN network structure  
(Source: own infographic)

Összességében elmondható, hogy az adatátvitel fejlődésével, mind a vezetékes, mind a vezeték nélküli technológiák esetében nőtt az elérhető sávszélesség, azaz átküldhető adat mérete, mennyisége. A nagy sávszélességű, energiaigényes kommunikáció mellett kialakult egy új trend és elkezdtek megjelenni a nagy területen, kis energiaigénnyel működő, csak adatcsomagokat továbbító rendszerek, melyek éppen a szenzoros mérések adatainak továbbítására a

legalkalmasabbak. Az, hogy rendelkezésre áll a technológia, hogy szinte bárhol méréseket lehessen végezni, kitágította a világot az adatgyűjtés számára és a legkülönbözőbb helyekre telepíthető szenzoros mérések.

Már csak egy dolgot kell megoldani, vagyis a megfelelő adatgyűjtővel kell ellátni a szenzorokat, mely adatgyűjtők képesek hosszú időn keresztül menedzselni a szenzorok működését, az adattovábbítást és mindezt olyan nehéz körülmények között is, mint egy tó felülete, egy kút, egy akna, vagy akár egy víztorony. Hogyan lehet ebben segítségünkre a digitalizáció? A válasz egyszerre egyszerű és bonyolult, hiszen tudjuk mérni a vízszintet a kutakban, tudunk figyelni vízminőségi paramétereket a felszíni vizekben, de ahhoz, hogy komoly, a jövőt érintő következtetéseket vonhassunk le, sok adatot kell gyűjteni, abból elemzésekkel, modellek kialakításával lehet következtetni a jövőbeli eseményekre, sőt, nem csak következtetni lehet, hanem fel lehet készülni, esetleg el lehet kerülni a negatív eseményeket. Amennyiben egyre több és több információ kerül rögzítésre, annál könnyebben láthatjuk előre, hogy az egyes események hogyan befolyásolják a vízminőséget, a vízszinteket, láthatunk mintákat, ismétlődéseket az adatokban, a trendekben, észrevehetünk összefüggéseket, akár olyanokat is, amelyek mérések nélkül nem mutatkoznának meg, így nem csak reaktívan végeznénk környezetünk védelmét, hanem képesek lehetnénk proaktívan, előre látóan intézkedéseket hozni. Ezek a matematikai modellek, természetesen nem mindenhatóak, nem fogják megmondani a jövőt, de jelentős mértékben leszűkítik a lehetőségek számát, ami jelenleg határtalan.

## DIGITÁLIS ESZKÖZEINK

Az IoT (a dolgok internete) vízipari piacának mérete egy 2020-ban készült felmérés alapján, 2019-ben elérte a 28,6 milliárd USD-t, és az előrejelzések szerint 2024-ben 53,8 milliárd USD-os piaci értéket fog képviselni. Ebből is látható, hogy egy olyan növekedési fázis elején van az iparág, amilyennel a mobiltelefonok megjelenésekor találkozhatunk. Ezzel egyidőben olvashatók olyan adatok, melyek szerint az IoT eszközök száma a világban évente megkétszereződik, ami természetesen nem csak a víz szektort érinti, ám jelentősen kihat rá.

Az IoT eszközök megjelenése, a telekommunikáció újabb és újabb vívmányai lehetőséget adnak arra, hogy a vízminőséget akár óránként mérjünk. Ezek mérési adatok, mondhatjuk úgy, „digitalizálják a vizet”, azaz az információk a víz minőségéről digitálisan tárolhatóvá válnak.

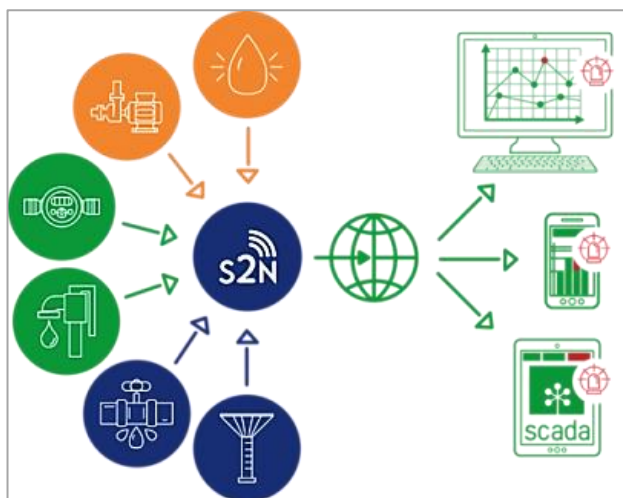
A mérés kihívások elé állítja a szakembereket. Nagy földrajzi területre kiterjedő mérés esetén nagy területről kell megoldani az adatok eljuttatását az egyik pontról a másikba, és mindezt úgy, hogy meg kell oldani a mérésekhez és a kommunikációhoz szükséges energia biztosítását, lehetővé kell tenni a rendszeres karbantartást és végül, de nem utolsó sorban, olyan költségszinten kell megvalósítani és üzemeltetni, ami elfogadható mind a tulajdonos, mind pedig az üzemeltető számára.

Bár alkalmazhatunk akkumulátorokat, napelemeket, de az eszközök energiaellátása is bonyolult kérdés, mivel nem süt mindig a nap, nem jut be mindenhol a napfény, hogy

termeljen áramot a napelem. A mérések és az adatkommunikáció energiaigénye magasabb, mint amit egy akkumulátor hosszú időn keresztül el tud látni villamos energiával, vagy egyszerűen, csak nem megfelelő a helyszín egy hagyományos akkumulátor számára a nagy tartományban változó környezeti hőmérséklet miatt.

Magyarországon a GSM hálózati lefedettség jó, mivel a lakott területek egymáshoz közel fekszenek, nincsenek igazán nagy magaslatok, nagy kiterjedésű lakatlan síkságok. A világot járva számos olyan területtel találkozhat az utazó, ahol nem működik a telefonja, ahol a telefon kiírja „No service”. Sőt, városokban, a föld alatt megbúvó aknában is mindennapos probléma, megoldandó házi feladat a térérő biztosítása. Azért is szól a világ jelenleg IoT eszközökről, okos eszközökről, mert ezek az eszközök képesek vezeték nélküli kommunikációra – legyen ez GSM, LoRa WAN, Narrow Band IoT (NB IoT) – továbbá képesek műveleteket végezni már a mérési adatok megszületésekor, azaz képesek nem csak adatokat továbbítani, hanem képesek lehetnek konszolidálni a mérési eredményeket, azaz az adatokat információvá alakítani és szükség esetén tárolni.

A különféle technológiák különféle mennyiségű adatot képesek továbbítani, a telekommunikációs technológia sajátosságaitól függően, és mint minden más esetben is attól függően, hogy mire van szükség, hogy milyen igényt kell kielégíteni, annak megfelelően kell kiválasztani a használni kívánt technológiát (3. ábra). A GSM LTE az egyik leggyorsabb rendszer, amely képes akár filmet vagy más adatfolyamot továbbítani, azonban ennek a technológiának az energiaigénye a legnagyobb és ennek a technológiának a hatótávolsága a legkisebb. Ezzel szemben a kis energiaigény és a nagy távolság a LoRa WAN és az NB IoT mellett szól, azonban ott az átküldhető adatmennyiség korlátozott. Természetesen a vezetékes internet volna a legjobb, hiszen az energiaigény jól csökkenthető, a hatótávolságot csak a kábelek határozzák meg, azonban a kábelfektetés költséges, nehezen mobilizálható, így a legtöbb helyen nem is megoldása a problémának.



3. ábra. Mérés-adatgyűjtés lehetőségei a víziparban, sematikus rajz (Forrás: saját infografika)

Figure 3. Measurements and data collections in the water industry, schematic drawing (Source: own infographic)

Az adatgyűjtés, az eddigiekben összegyűjtött kihívásokon kívül, további nagy feladat elé állította a technológiai cégek fejlesztőit, mivel ezeket az adatokat időjárás körülményektől függetlenül, 7/24-ben, azaz éjjel-nappal továbbítani kell, olyan módon, hogy értelmezhető legyen a kapcsolódó eszközök, mérés adatgyűjtő szerverek, SCADA megoldások jelenlegi meglévő rendszereihez. Az eddigiekben használt felügyeleti rendszerek, bővítése a cél, nem egy újabb teljesen független rendszer kiépítése, annak érdekében, hogy növelni lehessen az energiatároltságot, csökkenteni lehessen a hibák számát, előre meg lehessen jósolni folyamatokat, bekövetkező eseményeket, lényegében azért, hogy minél több információ álljon rendelkezésre a döntéshozatalhoz, mind az operatív tevékenységekben a helyszínen, mind pedig a stratégia a döntések meghozatalában a menedzsment szintjén.

Látható, hogy a megfelelő technológia kiválasztása összetett gondolkodást igényel és a nagy földrajzi terület, a magas biztonsági igény miatt és a költséghatékony működés tovább nehezíti a döntési helyzetet. Mindenképpen körültekintő döntésre van szükség ahhoz, hogy a digitalizáció támogassa a folyamatokat, és ne egy újabb probléma halmazzon az üzemeltetők életébe.

### DIGITÁLIS TÁMOGATÁS: A KÖRFORGÁSOS VÍZGAZDÁLKODÁS

A körforgásos gazdálkodásról és a digitalizációról beszélünk, de mindig más és más kontextusban. Ebben a részben sok olyan megközelítés fog szerepelni, ami víz és digitalizáció és a körforgásos gazdaság együtteséről szól, de nem lehet az összes szempontot, nézőpontot megmutatni, hiszen másképp kapcsolódik a témához az, aki üzemeltetőként dolgozik egy szolgáltató cégnél, másképp látja egy vízbiológus és megint másképp egy felhasználó, aki a víz fogyasztója és talán nem is gondol bele, hogy mennyi ember munkája szükséges ahhoz, hogy az általunk annyira szeretett és tisztelt víz a poharunkba, a kádunkba, a medencénkbe kerüljön és aztán vissza a természetbe, hogy újra indulhasson előlről a folyamat. Akkor kezdjünk is bele a víz körforgásába és a hozzá kapcsolódó digitalizációba, a digitalizálás mikéntjébe!

Ha azt szeretnénk tudni, hogy milyen területeken találkozik a digitalizáció és a víz körforgása, akkor kezdhetjük a vízbázisokkal, ezt követi a víz kezelése és elosztása és így jutunk el fogyasztókhoz, és végül ugyanezek a fogyasztók lesznek a szennyvíz kibocsajtói, ami eljut a szennyvíztisztító telepekre, ahonnan ismét vissza a természetbe.

A vízbázisok mind a föld felett, mind a föld alatt fontos kincset rejtnek, melynek megőrzése kulcs a jövő vízellátásához, ezért fontos tudnunk minél több információt a témában és innen indulva haladhatunk végig a víz körforgásának teljes folyamatán, ahogy ezzel párhuzamosan eljutunk az adatfeldolgozás összefüggéseiben is a méréstől az adatgyűjtésen át, a tároláson keresztül az adatelemzésig, a döntéstámogató információig.

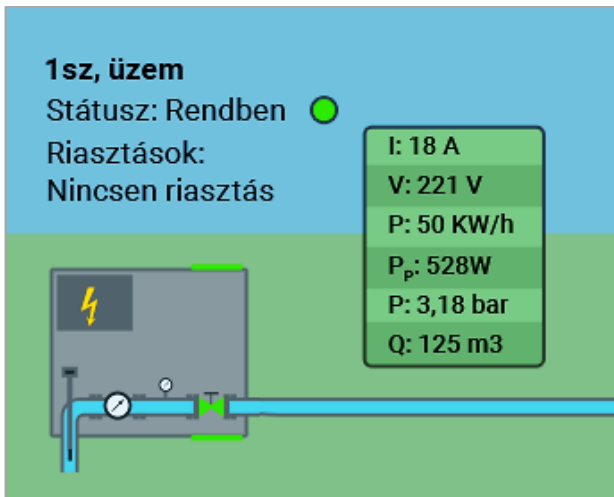
Az ilyen módon gyűjtött adatok segítségével elérhető, hogy láthatóvá válik egyes vízbázisok egymásra hatása. Ezt figyelembe véve, lehetőség nyílik rá, hogy elkerülhessük az egyes területeken megjelenő vízhiányt, akár prakti-



kus üzemeltetési optimalizálással, akár víztároló objektumok építésével, vagy a fogyasztási szokások módosításával. Arra mindenesetre fel kell készülnie a világnak, hogy ezekre az okos megoldásokra egyre nagyobb szükség lesz.

A következő lépés a vízkivétel, ami történhet felszíni vízből, kútból, forrásból egyaránt, de egy biztos, hogy mérni mindenhol lehet. A vízkivételi pontoknál már a vízminőség mellett a termelt víz mennyisége is fontos jellemzővé válik, hiszen ez az adat egy újabb egyéni paraméter a víz elosztásának folyamatában, ami jellemzi a komplex rendszert.

Egy kút esetében fontos adat a termelt víz mennyisége, a kút üzemi és nyugalmi vízszintje, a szivattyú által elfogyasztott villamos áram mennyisége, frekvenciája, üzemideje és végül, de nem utoljára a hálózati nyomás szintje. Az ezekkel az adatokkal jellemzett kút szolgáltatja a hálózat felé a vizet (4. ábra). Mindezek mellett az üzemeltetők számára fontos adat az összes aktuális státusz, ami azt mutatja, hogy a kútban jelenleg nincs üzemi hiba, megfelelően működik, nincs bent senki, nem nyitották ki, nem öntötte el a víz.



4. ábra. Kútgépház sémarajz SCADA rendszerhez  
(Forrás: saját infografika)

Figure 4. Well housing diagram for SCADA system  
(Source: own infographics)

A gépházakban mindenhol a legfontosabb paraméter az egyes gépek üzemideje, villamos paraméterei, szállítási és nyomásadatai, a teljes gépház beérkező és szállított vízmennyisége, és itt már több lehetőség nyílik arra, hogy még vízminőségi paraméterek ellenőrzése is megtörténhessen.

A kitermelést követő vízkezelési folyamatlépések esetén van mérhető és mérendő fizikai, kémiai, illetve biológiai paraméter, mely jellemzi a vízminőséget, a vízmenyiséget, a tisztításhoz kapcsolódó energiaigényt, az egyes elemek, eszközök működését, megfelelőségét. Mérhetők a folyadékszintek, vegyszerek koncentrációja, adagoló eszközök működése és a gépház hőmérséklete. Az összes adat, ami egy ilyen helyen mérhető, számítható, mindmind közelebb viszi a felhasználókat a megfelelőbb, a jobb és hatékonyabb működéshez.

Ahogy erről már szó volt a vízbázisok adatainak elemzése kapcsán, megfigyelhetők, trendek, folyamatok mintái,

csökkenő és emelkedő értékek analizálhatók az üzleti intelligenciák és a mesterséges intelligencia segítségével. A jelentős különbség a vízbázisok és a technológia más fázisai között, hogy itt mesterséges műtárgyak, berendezések működését kell megvizsgálni és ebben az esetben egzakt következtetések is jól levonhatók, a mérések elemzése alapján meghozott döntések eredménye könnyen és gyorsan visszamérhető, a folyamat szabályozása emberi kézben van, a ciklusidő töredéke a vízbázisok méréseivel megfigyelhető lépéseknek. Ez olyan módon segíti a szakemberek munkáját, hogy hozhatnak meg gyors döntéseket, módosíthatnak paramétereken és órákon, napokon, vagy esetleg heteken belül látható, mérhető a változás és meghozható egy újabb döntés a módosításokat illetően. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy az adatok struktúrájának kidolgozása, a megfelelő elemzések elvégzése nem igényel nagy szakértelmet, inkább csak azt érdemes észrevenni, ezekben a folyamatokban az embernek sokkal nagyobb befolyása van, sokkal erősebb ráhatást tud gyakorolni az egyes elemekre.

A digitalizációban rejlő lehetőségeket ki kell használni, hiszen a hatékonyság növelése, a rendszerekben elbújó tartalmak megtalálása, az újabb finomítások tekintélyes potenciállal bírhatnak. A vízre jellemző nagy mennyiségek esetében, már egész kis százalékos javulás is óriási eredményt hozhat.

Miben érhető el hatékonyságjavulás? A pontos folyamat és trendismeret összeköthető a fogyasztói szokásokkal, így átalakítható a vízkezelés időtartama, változtatható a technológia energiafelhasználási igénye, azaz csökkenthető a villamos fogyasztás, vegyszer felhasználás, csökkenthető a technológiában felhasznált technológiai víz mennyiség és mindez úgy történhet meg, hogy a minőséget nem csak fenntarthatja az üzemeltető, hanem jobb minőségű vizet szolgáltat. A kezelt vizet el kell juttatni a fogyasztókhoz, jó minőségben, a lehető legkisebb veszteséggel, minden nap 24 órán keresztül, ezért fontos a meglévő csőhálózat állapotának folyamatos monitoringja, az optimális víznyomás beállítása, a csőtörések elkerülése vagy mielőbbi észlelése.

Az elmúlt évek során több különböző módon is elvégezték ezeket a feladatokat a szakemberek, de az utóbbi időben segítségükre sietett a modern technológia, az IoT eszközökkel. Ezek az eszközök olyan kihívásokra kell, hogy megoldást adjanak, amelyek hosszú ideje foglalkoztatják a szakértőket.

A hálózat monitoring kihívásai:

- nagy területen elszórtan, helyezkednek a mérési pontok,
- a mérési helyszínek energiaellátása nem könnyen megoldható a villamos hálózatról,
- a kábelfektetés költséges, nem praktikus, sok területen kivitelezhetetlen,
- a mért adatok begyűjtése sok nehézségbe ütközik,
- könnyen telepíthető, vezeték nélküli technológiára van szükség,
- a vízhálózat, a csövek a föld alatt találhatóak.

Amennyiben sikerül ezekre a kihívásokra megoldást találni, abban az esetben elérhető, hogy elegendő helyen lehessen vizsgálni a csőhálózatot, csökkenteni lehessen a

hálózati veszteségeket, a szivárgások számát és mértékét, be lehessen állítani a megfelelő víznyomást, felderíthetők legyenek a jogosulatlan fogyasztási pontok.

A hálózati nyomás csökkentése, illetve optimalizálása sok előnnyel jár, hiszen kisebb nyomás előállításához kevesebb energiát igényel, a meglévő szivárgásokon kevesebb víz kerül ki a hálózathoz, csökkenhet a csőtörések száma, növekszik a csövek élettartama. Milyen előnyökkel járhat még a hálózati nyomás figyelése? Fontos a hálózati nyomás csökkentése, de nem szabad megfeledkezni az olyan plusz előnyökről sem, mint az, hogy sokkal gyorsabban fel lehet ismerni a csőtöréseket, már azelőtt értesülhet egy-egy csőtörésről a szolgáltató, hogy az első bejelentések megérkeznek a lakosságtól. De hasznos lehet az is, amikor a szerelőcsapat elzárja az utcán a vizet és pontosan tudják, hogy melyik utca érintett, hogy melyik utcában nem lesz víz és melyik utcában zavartalan a vízszolgáltatás. Ezek olyan előnyök, amik egyszerűsége és hasznossága csak akkor fog láthatóvá válni, ha már elterjednek az ilyen rendszerek.

A legújabb technológiák lehetőséget nyújtanak arra, hogy a vízvezeték hálózatról gyűjtött adatokból adatbázissal meghatározhatók előre a csőtörések, eldönthető, hogy melyik csőszakaszt kell kicserélni, mert nagy a veszélye annak, hogy eltörik. Ha ezeket pontosan lehet meghatározni, akkor a vízmű cégek optimálisan költhetik felújításra szánt pénzüket, így ugyanannyi pénzből sokkal jobb hálózat építhető.

Eddig csak a nyomáscsökkentésről volt szó, de hálózatmenedzsment ennél sokkal többről szól, sokkal többről szólhat. Jelenleg éjszakánként szakemberek csoportjai járnak ki a városokba mérni, mert éjjel tudják a legkönnyebben meghatározni, hogy hol szivárognak a csövek, hol kellene ásni és javítani, hogy a termelt víz ne folyjon el. Ha akár éjjel, akár nappal mérhető az egyes területekre beadott víz mennyisége, folyásának iránya, nyomása, akkor a szakemberek, akik eddig éjjel dolgoztak, most már elvégezhetik az elemzéseket nappal, normális munkaidőben, megtervezhető a javítás, figyelembe véve a csőtörés mérete, a forgalom, a környező ingatlanok veszélyeztetettsége és a legalkalmasabb időpont és technológia választható ki a javításra. Ismerve a fent említett adatokat, meghatározhatók a fogyasztói szokások, intézkedéseket lehet tenni a vízhiányok elkerülésére, előre lehet gondolkozni a jobb szolgáltatás érdekében. Gondoljunk bele, hogy mekkora terhelést jelent, mikor egy lakóparkos, kertesház területen minden öntözőrendszer egyszerre indul el, mekkora mennyiségű vízre van szükség egyidőben! Ha ezeket a szokásokat meg lehetne változtatni és elérhető lenne, hogy ezt a sok locsolót ne egyszerre, hanem elosztva indítsák el a fogyasztók, akkor senkinél nem csökken a kritikus alá nyomás, nem ürülnek ki feleslegesen a víztározó medencék, optimálisan tölthetők a rendszerek, kevesebb energiával, költséghatékonyan.

A következő állomás a *fogyasztó*, ahol mérhető a napi fogyasztás, a heti-, havi éves fogyasztás, illetve okosan tervezhető az utcai vezetékek. Ezek az adatok mind abban segítik a szolgáltatókat, hogy jobban, olcsóbban, megfelelő minőségben szolgáltatassák a vizet, mindenki megelégedésére.

Az ügyfélszokások sok hasznos adatot rejtenek, de a vízfogyasztás másik oldala, a szennyvíz termelése is komoly kihívásokat jelent a szolgáltatók számára. A *szennyvízhálózathoz* egyre több és több érdekes információt tudnak kimérni a szakemberek, például a pandémiás időszak alatt meghatározható volt mely városok, városrészek vannak nagyobb veszélynek kitéve COVID fertőzés tekintetében, hol csökken a fertőzöttek száma, mennyire hatásosak az oltások a lakosság adott csoportjaiban. Persze a szennyvíz minősége sok mindent elárulhat még a fogyasztókról, de érdemes arra gondolni, hogy a kibocsátott szennyvíz egyben a *szennyvíztelep* bemenő terhelése, ami rosszabb esetekben problémát is okozhat a szennyvíztelep mikrobiológiájában, működésében, ami nem csak a tisztítás minőségére, de költségére is nagy hatással lehet.

Egy szennyvíztelepen folyamatos feladat a finomhangolás, hiszen a víz minősége a nap különböző szakaszaiban, a különféle évszakokban, a különböző időjárási viszonyoknak megfelelően változik. Ahhoz, hogy a kibocsátott szennyvíz minősége megfelelő legyen, hogy a technológiát pontosan be lehessen állítani, mindig más és más szabályozásokra van szükség, mely beállításokat mérések alapján lehet pontosítani. Ez a pontosítás nem csak a kibocsátott szennyvíz minőségét befolyásolja, de az energiahatékonyságot, a vegyszerek mennyiségének a felhasználását is javítják. A tisztítás egyes lépéseit az alapján kell beállítani, hogy milyen minőségű és mennyiségű szennyvíz érkezik a telepre.

Így majdnem elér oda a víz körforgása, ahonnan indult, hiszen a tisztított szennyvíz visszakerül a természetbe, a befogadó felszíni vizekbe, tavakba, folyókba, de most már a lakosság, az ipar, a fogyasztók által megváltoztatva.

## INTEGRÁLT DIGITÁLIS VÍZGAZDÁLKODÁS

Bár a magyarországi vízgazdálkodási infrastruktúra jól kiépített, azonban a kellő fenntartás hiánya az elmúlt évtizedekben mára azt a helyzetet idézte elő, hogy az előttünk álló 2021 – 2027 finanszírozási ciklusban több ezer milliárd nagyságrendű, beruházást szükséges a vizes infrastruktúra felújításra szánni. Csak a vízi közművek (vízellátás, csatornázás, szennyvízkezelés) felújítására 1500 milliárd forint szükséges konzervatív becslések szerint. A területi vízgazdálkodás (árvíz-, belvíz-, aszálykár-megelőzés, tározás, lefolyás-szabályozás, klímaadaptáció) a becslések szerint 750 milliárd forint beruházást igényel. Itt tehát kulcskérdés a beruházások gazdasági optimalizálása és a rendszerek megbízható valós idejű üzemeltetése. Minden egyes elemnél négy dolog integrációját kell megvalósítani:

- Valós idejű adatgyűjtés valós idejű (real-time) szenzorokkal, ill. távérzékeléssel,
- nagy adatmennyiségek elemzése és feldolgozása, gyors elérésű integrált vízgazdálkodási adatbázisba való szervezése és folyamatos fenntartása,
- valós idejű üzemirányítási modellek kidolgozása,
- a különböző tér-idő skálán működő tervezési és irányítási modellek integrálása koherens rendszer(ek)be.

Míg harminc éve az adathiány volt az okszerű vízgazdálkodás egyik kerékkötője, addig mára a digitális technológiák gyors fejlődése következtében az adatbőség, pontosabban az adatokban rejlő mintázat való idejű azonosítása és a különböző szintekre kidolgozott modellek integrálása a kihívás. Ennek megtétele az integrált digitális vízgazdálkodás program célja (*Szöllösi-Nagy 2019*).

## ÖSSZEFOGLALÁS – DIGITÁLIS UTAZÁS A VÍZ 4.0 ÚTJÁN

Napjainkban zajlik az IPAR 4.0, a digitalizáció és a fenntarthatóság ipari forradalma. Ez alapján definiáljuk a *VÍZ 4.0* forradalmat, mely az integrált digitális körkörös vízgazdálkodást támogatja, egyedülálló lehetőséget kínálva a jövő vízproblémáinak kezeléséhez, valamint óriási eshetőséget adva a vízinfrastruktúra-rendszerek működtetésének optimalizálására az erőforrások (pl. energia, víz, személyzet) még hatékonyabb felhasználása érdekében, a szolgáltatás biztonságának egyidejű javításával (például a vízszennyezés minimalizálása).

A digitális átállást hozzá kell igazítani az ágazat helyzetéhez és meg kell teremteni a fejlődés technikai, finanszírozási és képzési feltételeit. A jövőben mind a tapasztalt, mind az új munkatársaknak felkészítésre lesz szükségük ahhoz, hogy képesek legyenek kezelni az új helyzetet, az oktatásnak és a képzésnek pedig az előtűnk álló új kihívásokra kell összpontosítania. Az új technikai felszerelést és a rendszerek korszerűsítését az új követelményeknek megfelelő oktatással és képzéssel kell támogatni.

## A SZERZŐK



**ILCSIK CSABA** a WaterScope Zrt vezetője, 35+ év iparban eltöltött évvel, 20 év vízipari háttérrel, vízműves múlttal, melynek jelentős része karbantartási területről származik, de az innováció, a digitalizáció, a vízipar digitalizációja a mindennapi életének része. A mérés és adatgyűjtés, a vezeték nélküli technológiák ismerete, a környezetvédelem és a "vizes múlt" miatt köteleződétt el Vízipar 4.0 mellett.



**MAJOR VERONIKA** okl. gépészmérnök, egyetemi doktor, (Budapesti Műszaki Egyetem), jogi szakokleveles mérnök (Eötvös Loránd Tudományegyetem). A Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség alelnöke, a Műszaki Igazságügyi Szakértői Testület tagja, a Magyar Hidrológiai Társaság Hidrológiai Közöny szerkesztőbizottsági tagja, „Benedek Pál” díjas.

Szükséges a jövőben a képzések során a szakemberek számára olyan témákról is mélyebb tudásanyagot kidolgozni, megtanítani, melyek nem közvetlenül a vízkezeléshez, hanem a digitális technikához, az informatikához, illetve a kommunikációs technológiákhoz kapcsolódnak. Szükségessé válik olyan szakemberek, csoportok képzése, melyek a vízkezelésben és digitális, vezeték nélküli kommunikációban, a térinformatikában, az adatok kiértékelésében egyaránt rendelkeznek szakmai ismeretekkel, és a digitalizációt a vízipar szemével képesek látni.

## IRODALOM JEGYZÉK

*Deloitte* (2019). Circular goes digital, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/fi/Documents/risk/Circular%20goes%20digital.pdf>

*European Police Center* (2020). The digital circular economy, A driver for the European Green Deal [https://epc.eu/content/PDF/2020/DRCE\\_-\\_Executive\\_summary1.pdf](https://epc.eu/content/PDF/2020/DRCE_-_Executive_summary1.pdf) Letöltve 2021.08.20

*IWA* (2021). IWA Digital Water Programme <https://iwa-network.org/programs/digital-water/> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH\\_20\\_1655](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH_20_1655) :Letöltve 2021. 08. 20.

*Szöllösi-Nagy A.* (2019). Digitális transzformáció segítségével integrált vízgazdálkodás, vízkormányzás optimalizáció és döntéstámogatás diszruptív technológiákkal. Személyes közlés.

*Von der Leyen, U.* (2020). State of the Union Address by President von der Leyen at the European Parliament Plenary, [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH\\_20\\_1655](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH_20_1655), Letöltve 2021. 08. 20.

# Fogalomtár

A jelen lapszám a körforgásos gazdaság és a vízgazdálkodás kapcsolatát mutatja be számos tematikus cikkel keresztül. A szakmai cikkek kiválasztása, szerkesztése szerkesztőbizottságunk tagjának, dr. Major Veronikának kitűnő munkája alapján valósult meg. Szerkesztői munkája és a szakirodalom áttekintése során felismerte, hogy a körkörös gazdasággal különböző kontextusban foglalkozó szakmai anyagok nem egységesen használnak fogalmakat. Az alábbiakban közreadjuk az általa ábécé sorrendbe szerkesztett tematikus fogalomtárat, amely a magyar fogalmak megnevezése és definíciója mellett angolul is megadja a fogalmak nevét és definícióját.

## Tematikus fogalomtár – A körkörös gazdaság és a vízgazdálkodás

Major Veronika

Magyar Víz-és Szennyvíztechnikai Szövetség, 1046 Budapest, Kiss Ernő utca 3/a. (E-mail: vera@botondok.hu)

Sajnos sem a szakma gyakorlóit, sem a szakirodalom nem használja egységesen a körkörös gazdaság fogalmait. Ezért tartjuk szükségesnek a fogalmak pontos értelmezését. Az alábbi táblázatban magyarul és angolul adjuk meg a fo-

galmakat az egységes szóhasználat megalapozása céljából. A fogalmak angol meghatározásánál alapvetően a *Glossary - Circular Economy Guide* forrásra támaszkodtunk (*Circular Economy 2021*).

<b>A - Á</b>	
<b>Alapanyag</b>	<b>Feedstock</b>
Olyan anyag, amelyet egy termék vagy folyamat inputjaként használnak.	A material or substance that is used as an input to a product or process.
<b>Anyagáram elemzés (MFA)</b>	<b>Material flow analysis (MFA)</b>
Módszer az anyag be- és kiáramlásának értékelésére.	A method to evaluate the material flows into and out of a system.
<b>B</b>	
<b>Bioalapú anyag</b>	<b>Bio-based material</b>
Részben vagy teljesen biomasszából készült anyag.	A material that is partially, or entirely made of biomass.
<b>Biomassza</b>	<b>Biomass</b>
Növényekből vagy állatokból származó szervesanyagok.	Organic materials derived from plants or animals.
<b>Biomimikri / bionika</b>	<b>Biomimicry / bionics</b>
A természet alkalmazta megoldások felhasználása.	Taking inspiration from nature to solve human challenges.
<b>Bionika</b>	<b>Bionics</b>
Lásd: Biomimikri	See: Biomimicry
<b>Bölcsőtől a bölcsőig</b>	<b>Cradle-to-Cradle®</b>
A „ <i>bölcsőtől bölcsőig</i> ” (angol rövidítése: C2C a <i>Cradle to Cradle</i> kifejezésből) a rendszertervezés bionikus megközelítése, mely az ember által létrehozott ipari folyamatokat természeti folyamatokkal modellezi, az anyagokat táplálékoknak vagy tápanyagoknak fogja fel, amelyek biztonságos, egészséges és zárt rendszerben keringenek.	<i>From Cradle to Cradle</i> (C2C from Cradle to Cradle), system design is a bionic approach to modeling man-made industry with natural processes that perceive materials as nutrients or nutrients that circulate in a safe, healthy, and closed system.
<b>Bölcsőtől a kapuig</b>	<b>Cradle-to-Gate</b>
A „ <i>bölcsőtől a kapuig</i> ” a termék részleges életciklusának elemzése az erőforrások kinyerésétől (bölcső) a gyár kapujáig (vagyis mielőtt a fogyasztóhoz szállítanák).	<i>Cradle-to-gate</i> is an assessment of a partial product life cycle from resource extraction (cradle) to the factory gate (i.e. before it is transported to the consumer).
<b>Bölcsőtől a sírig</b>	<b>Cradle-to-Grave</b>
Egy életciklus elemzése, amely vizsgálja egy termék vagy folyamat környezeti hatásait a nyersanyag kinyerésétől a végső elhelyezésig.	A life-cycle assessment, that evaluates the environmental impacts of a product or process from raw material extraction up to disposal.
<b>Buborékpolitika (emisszió kereskedelem)</b>	<b>Bubble policy (emissions trading)</b>
Adott szennyezőanyagra egy térségre kiszabott kvóta, amit a kibocsátók együttesen nem léphetnek túl. Ez lehetővé teszi, hogy a körzetben – buborékban – működő vállalatok között együttműködés, kvóta kereskedelem alakuljon ki.	A quota is set for a given pollutant in an area, which the pollutants together cannot exceed. This allows for co-operation between companies operating in the area - in the bubble.

<b>CS</b>	
<b>Csomagolás (elsődleges)</b>	<b>Packaging (Primary)</b>
A termékkel érintkező csomagolás (műanyag zsák, amely gabonát tart)	Packaging in contact with the product (plastic sack holding cereal).
<b>Csomagolás (harmadlagos)</b>	<b>Packaging (Tertiary)</b>
Egy vagy több másodlagos csomagot tartalmazó csomagolás.	Packaging that contains one or more secondary packages.
<b>Csomagolás (másodlagos)</b>	<b>Packaging (Secondary)</b>
Egy vagy több elsődleges csomagot tartalmazó csomagolás.	Packaging that contains one or more primary packages.
<b>D</b>	
<b>Digitális tárolhatóság</b>	<b>Digital storability</b>
A „digitális tárolhatóság” nem egyenlő a digitalizált, szkennelt dokumentumokkal, mivel nem képi adatok tárolásáról beszélünk, hanem valóban digitális formában keletkezett adatokról, melyek több szinten is értelmezhetőek.	“Digital storability” is not equal to digitalized, scanned documents, as it is not about the storage of visual materials, but real digital data that can be interpreted on several levels.
<b>E-É</b>	
<b>Elektromos és elektronikus berendezések hulladéka (E-hulladék)</b>	<b>Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)</b>
Lásd: Elektronikai hulladék	See: Electronic waste
<b>Elektronikai hulladék (E-hulladék)</b>	<b>Electronic waste (E-waste)</b>
Kidobott elektronikus és elektromos termékek.	Disposed electronic and electrical products.
<b>Életciklus</b>	<b>Life cycle</b>
A termék életciklusának összes szakasza: nyersanyag ki-termelés, feldolgozás, gyártás, felhasználás, elhasználódás és szállítás.	All the stages that a product goes through in its lifetime: raw material extraction, processing, manufacturing, use, end-of-life, and transportation.
<b>Életciklus elemzés (LCA)</b>	<b>Life cycle assessment</b>
Az életciklus-elemzés (LCA) egy folyamat, termék, illetve szolgáltatás teljes életútja során vizsgálja a környezetre gyakorolt potenciális hatásokat.	A method to evaluate the environmental impacts of a product or a system over its life cycle.
<b>Emberi fejlettségi index</b>	<b>Human Development Index (HDI)</b>
Az emberi fejlettségi index egy mutatószám, amely a világ országainak összehasonlítását teszi lehetővé a születéskor várható élettartam, az írástudás, az oktatás és az életszínvonal alapján.	The Human Development Index (HDI) is a statistic composite index of life expectancy, education (mean years of schooling completed and expected years of schooling upon entering the education system), and per capita income indicators, which are used to rank countries into four tiers of human development.
<b>Elhasználódás</b>	<b>End-of-life</b>
Az az életciklus-szakasz, amelynek során egy terméknek az eredeti tulajdonosa szempontjából már nincs értéke, és ezt követően megszabadul tőle.	The life cycle stage during which a product no longer has value to its original owner and is then disposed of.
<b>Energetikai visszanyerés</b>	<b>Energy recovery</b>
A nem újrafeldolgozható hulladékanyagok felhasználható hővé, villamos energiává vagy tüzelőanyaggá történő átalakítása különféle úgynevezett hulladékot energiává átalakító folyamatok révén, ideértve az égést, a gázosítást, a pirolízist, az anaerob lebontást és a hulladéklerakó-gáz visszanyerését.	The conversion of non-recyclable waste materials into useable heat, electricity, or fuel through a variety of so-called waste-to-energy processes, including combustion, gasification, pyrolysis, anaerobic digestion, and landfill gas recovery.
<b>F</b>	
<b>Fenntartható anyaggazdálkodás</b>	<b>Sustainable materials management</b>
Menedzsment megközelítés, amely a környezeti hatások csökkentését veszi figyelembe a gazdasági termelékenység vagy a társadalmi méltányosság veszélyeztetése nélkül.	Management approach that calls for the reduction of environmental impacts without compromising economic productivity or social equity.
<b>Fenntartható fogyasztás</b>	<b>Sustainable consumption</b>
Olyan áruk és szolgáltatások használata, amelyek úgy szolgálják ki a mai népesség igényeit, hogy nem veszélyeztetik a jövő nemzedékének jogos igényeit.	The use of goods and services that address the requirements of today's population without compromising the needs of future generations to meet theirs.
<b>Fenntartható tervezés</b>	<b>Sustainable design</b>
A környezetvédelmileg fenntartható tervezés (más néven környezettudatos tervezés stb.) az a filozófia, mely alapján a termékeket, az épített környezetet és a szolgáltatásokat úgy tervezik, hogy megfeleljenek az ökológiai fenntarthatóság elveinek.	Environmentally sustainable design (also called environmentally conscious design, eco design, etc.) is the philosophy of designing physical objects, the built environment, and services to comply with the principles of ecological sustainability.

<b>H</b>	
<b>Helyi anyagok</b>	<b>Local materials</b>
Anyagok, amelyeket ugyanabban a régióban nyernek ki és dolgoznak fel, amelyben megvásárolnak.	Materials that are extracted and processed within the same region they are being purchased.
<b>Hulladékot energiává</b>	<b>Waste to energy</b>
A hulladékkezelési technológia, amely hulladékból villamos energiát, hőt vagy üzemanyagot állít elő.	Process of treating waste that creates energy in the form of electricity, heat, or fuel.
<b>I</b>	
<b>Időben történő gyártás</b>	<b>Just-in-time manufacturing</b>
Gyártási stratégia az idővesztés és erőforrások optimalizálása érdekében olyan termékek vagy szolgáltatások biztosításával, amelyekre a gyártási folyamat következő lépésében szükség van.	Manufacturing strategy to reduce wasted time and resources by providing products or services as they are needed by the next step in the production process.
<b>Iker átmenet</b>	<b>Twin transition</b>
Az európai gazdaság átalakítása a zöld és a digitális fejlesztés segítségével	Transforming the European economy through green and digital development
<b>IoT - a dolgok internete</b>	<b>IoT - the Internet of Things</b>
A Dolgok Internete (Internet of Things - IoT) összekapcsolja és „okossá teszi” a különböző tárgyakat, „dolgokat”, legyenek azok gépek, autók, épületek vagy akár elektronikai - vagy elektronikával felszerelt - eszközök. Az interneten keresztül hálózatba kapcsolt (csatlakoztatott) készülékek kommunikálnak egymással, az applikációkkal és a felhasználókkal is.	The Internet of Things (IoT) connects and “smartens” different objects, “things,” whether they are machines, cars, buildings, or even electronic - or electronics-equipped - devices. Networked, connected (connected) devices also communicate with each other, applications, and users over the Internet.
<b>Integrált digitális vízgazdálkodás</b>	<b>Integrated digital water management</b>
Az integrált vízgazdálkodás támogatása digitális technológiákkal.	Supporting integrated water management with digital technologies.
<b>Ipari anyagcsere</b>	<b>Industrial metabolism</b>
Az ipari rendszerben zajló fizikai és kémiai folyamatok.	The physical and chemical processes taking place in an industrial system.
<b>J</b>	
<b>Javíthatósági tervezés</b>	<b>Design for repairability</b>
Tervezési elv, amely előírja, hogy a termékekben lévő alkatrészek könnyen cserélhetőek, javíthatóak legyenek.	Design principle that calls for products to be manufactured using fasteners, materials and processes that allow them to be easily be fixed.
<b>K</b>	
<b>Kék gazdaság</b>	<b>Blue economy</b>
A kék gazdaság a tengerekkel kapcsolatos tevékenységeket foglalja magában.	The Blue Economy includes all those activities that are marine-base.
<b>Kritikus alapanyagok</b>	<b>Critical raw materials</b>
A gazdaság szempontjából nélkülözhetetlen nyersanyagok, amelyeknek magas az ellátási kockázata a fogyó készletek, a kevés beszállító, vagy a nehéz hozzáférés miatt.	Raw materials that are essential to the economy and have high supply risk due to limited quantities, suppliers, or access.
<b>Kimerülési idő</b>	<b>Depletion time</b>
A természeti erőforrások teljes kimerüléséig hátralévő idő.	The time remaining before a natural resource is completely extracted.
<b>Kiterjesztett gyártói felelősség</b>	<b>Extended producer responsibility</b>
Olyan politika, amelyben a termék elhasználódásának kezelése során pénzügyi vagy fizikai felelősség hárul a gyártóra. (pl. visszavételi kötelezettség)	A policy in which financial or physical liability for end-of-life handling is placed on the producer.
<b>Körforgásos gazdaság</b>	<b>Circular economy</b>
A körforgásos gazdaság termelési és fogyasztási modellje az erőforrások jobb kihasználására, a nyersanyaghasználat csökkentésére, a termékek élettartamának meghosszabbítására, az ellátás biztonságának növelésére és az üvegházhatású gázok kibocsátásának korlátozására, végül pedig a „zéró-emisszió” elérésére épül. A körforgásos gazdaság fogalmát hat tényező vázolja fel (6R modell), azaz „csökkentés – reduce, újrafeldolgozás – recycling, újrahazsnálat – reuse, újrahazsnosítás – recovery, helyreállítás – remanufacture és újragondolás – rethinking”.	The circular economy production and consumption model is based on making better use of resources, reducing raw material-use, prolonging the life of products, increasing security of supply, and limiting greenhouse gas emissions, and finally achieving “zero emissions”. The concept of a circular economy is outlined by six factors (Model 6R), namely “reduce, recycle, reuse, recover, remanufacture and rethinking”.

<b>Környezetvédelmi tervezés</b>	<b>Design for environment</b>
Tervezési elv, amely a termék életciklusa során a negatív környezeti hatások minimalizálására törekszik.	Design principle that calls for the minimization of negative environmental impacts across a product or service's life cycle.
<b>Kreatív újrafeldolgozás</b>	<b>Upcycle</b>
Másodlagos termékek, alkatrészek vagy anyagok használata, amelyek magasabb gazdasági értéket eredményeznek.	A process of converting materials into new materials of higher quality and increased functionality.
<b>L</b>	
<b>Lábnym</b>	<b>Footprint</b>
Egy termék, szolgáltatás, társadalom vagy egyén által a teljes életciklusa alatt előállított terhelés. Kiszámítható például a termék szén-, víz-, energia- és anyaglábnyma	The impact of a product or service across its life cycle. One can calculate a product's carbon, water, energy and material footprints, for example.
<b>Lineáris gazdaság</b>	<b>Linear economy</b>
A lineáris gazdasági modell hagyományosan követi a „el- vesz-használ- eldob” modellt. Ez azt jelenti, hogy a nyersanyagokat összegyűjtik, majd olyan termékekké alakítják át, mely termék végül hulladékként végzi. Az érték ebben a gazdasági rendszerben a lehető legtöbb termék előállításával és értékesítésével jön létre.	A linear economy traditionally follows the “take-make-dispose” step-by-step plan. This means that raw materials are collected, then transformed into products that are used until they are finally discarded as waste. Value is created in this economic system by producing and selling as many products as possible.
<b>Lineáris kockázat</b>	<b>Linear risk</b>
Kockázat, amellyel a vállalat akkor szembesül, ha a hagyományos "el vesz-használ- eldob" gazdasági modellt alkalmazza.	The risk a company faces when depending on the conventional "take-make-dispose" economic model.
<b>M</b>	
<b>Másodlagos nyersanyagok</b>	<b>Secondary raw materials</b>
Hasznosított, újrahasznosított és nyersanyagként újra feldolgozott hulladékok.	Waste materials that are recovered, recycled, and reprocessed for use as raw materials.
<b>Másodlagos nyersanyagok piaca</b>	<b>Secondary materials marketplace</b>
A másodlagos nyersanyagok cseréjét megkönnyítő üzlet.	Market that facilitates the exchange of secondary raw materials.
<b>Megosztási modell</b>	<b>Sharing model</b>
Olyan üzleti modell, mely a kihasználatlan eszközök megosztását biztosító szolgáltatáson alapszik.	Business model based on the sharing of under-used assets as a service.
<b>Megújuló források</b>	<b>Renewable resources</b>
Olyan anyagok, energia- és vízkészletek, amelyek kitermelés után véges időn belül visszatöltődnek.	Materials, energy, and water sources that replenish themselves after human extraction within a finite amount of time.
<b>Melléktermék</b>	<b>By-product</b>
Anyag, amelyet valami más feldolgozása vagy gyártása során hoztak létre.	A material created when processing or manufacturing something else.
<b>Moduláris kialakítás</b>	<b>Modular design</b>
Tervezési elv, amely előírja, hogy a termékeket cserélhető alkatrészkészlet felhasználásával állítsák elő, így segítve termékek használatosságát.	Design principle that calls for products to be manufactured using a set of components that can be individually replaced, preventing entire products from becoming useless.
<b>N</b>	
<b>Nyílt hurkú újrafeldolgozás</b>	<b>Open loop recycling</b>
Az „A” termék újrafeldolgozása és gyártása „B” termékké.	Recycling product “A” and manufacturing it into product “B”.
<b>O-Ö</b>	
<b>Ökológiai-tervezés</b>	<b>Eco-design</b>
Tervezési elv, amely a termék vagy szolgáltatás életciklusa során a negatív környezeti és egészségügyi hatások minimalizálását célozza.	Design principle that calls for the minimization of negative environmental and health impacts across a product or service's life cycle.
<b>Ökológiai hatékonyság</b>	<b>Eco-efficiency</b>
Ökológiai hatékonyság a megtermelt (hozzáadott) érték (pl. GDP) és a termék vagy szolgáltatás (hozzáadott) környezeti hatásainak (pl. SO <sub>2</sub> -kibocsátás) aránya.	Eco-efficiency is measured as the ratio between the (added) value of what has been produced (e.g., GDP) and the (added) environmental impacts of the product or service (e.g. SO <sub>2</sub> emissions).
<b>Ökológiai lábnym</b>	<b>Ecological footprint</b>
Az ökológiai lábnym az erőforrásmenedzselésben és társadalomtervezésben használt érték, amely azt fejezi ki, hogy adott technológiai fejlettség mellett egy emberi társadalomnak milyen mennyiségű földre és vízre van szüksége önmaga fenn tartásához és a megtermelt hulladék megszüntetéséhez.	The ecological footprint is a value used in resource management and social planning, which expresses a human society's needs of land and water to sustain itself and eliminate the waste produced at a given technological development.

<b>P</b>	
<b>Precíziós mezőgazdaság</b>	<b>Precision agriculture</b>
A precíziós mezőgazdaság úgy is felfogható, mint egy tér-informatikai alapokon nyugvó mezőgazdasági döntéstámogatási rendszer és gazdálkodási forma, amely figyelembe veszi a termőhely térbeli heterogenitását.	Precision agriculture can also be understood as a GIS-based agricultural decision support system and a form of farming that takes the spatial heterogeneity of the production area into account
<b>R</b>	
<b>Regeneratív tervezés</b>	<b>Regenerative design</b>
Olyan tervezési elv, amely előírja, hogy a termékek vagy szolgáltatások hozzájáruljanak az ökoszisztéma egészségéhez.	A design principle that calls for products or services to contribute to ecosystem health.
<b>Regeneratív gazdaság</b>	<b>Regenerative economy</b>
Olyan forgatókönyv, amelyben a termékek és szolgáltatások zárt hurkú rendszerben töltik fel saját energia-, víz- és anyag készleteiket.	A scenario in which products and services replenish their own sources of energy, water, and materials in a closed-loop system.
<b>S -Sz</b>	
<b>Syngas</b>	<b>Syngas</b>
A "szintézisgáz" rövidítése: a syngáz olyan szénelegyet képező gázkeverék, amelyet szén- tartalmazó üzemanyag gázosításával állítanak elő.	Short for "synthesis gas," syngas is gas mixture produced via gasification of a fuel containing carbon.
<b>Szétszerelhetőséget biztosító tervezés</b>	<b>Design for disassembly</b>
A szétszerelhetőséget biztosító tervezés során a termékeket úgy tervezik, hogy az alkatrészek cserélhetőek, az anyagok pedig újrahasznosíthatóak legyenek.	Design for Disassembly is the design of products to facilitate future changes and dismantlement (in part or whole) for recovery of systems, components and materials.
<b>Szivacsváros</b>	<b>Sponge City</b>
A „Spongycity” egy modern csapadékvíz -kezelési rendszer, amely segít a vízvezetési problémák megoldásában, a földterületek teljes kihasználásában.	“Sponge City” is a modern stormwater management approach to help solve drainage problems, fully utilize land resources.
<b>T</b>	
<b>Tartósság</b>	<b>Durability</b>
Termékjellemző, amely meghatározza azt az időtartamot, amely alatt a termék megőrzi értékét vagy funkcionalitását.	Product characteristic that determines the length of time over which it maintains its value or functionality.
<b>Tartósságra tervezés</b>	<b>Design for durability</b>
Tervezési elv, amely a termék vagy szolgáltatás hasznos élettartamának maximalizálását célozza meg.	Design principle that calls for maximization of a product or service's useful life.
<b>Társadalmi életciklus elemzés</b>	<b>Social life cycle assessment</b>
Módszer a termék vagy szolgáltatás egész életciklusa alatti kifejtett társadalmi és szociológiai hatások értékelésére.	A method to assess the social and sociological impacts of a product or service across its entire life cycle.
<b>Tervezett elavulás</b>	<b>Planned obsolescence</b>
Üzleti stratégia a fogyasztói tulajdonosi idő lerövidítésére az értékesítési volumen növelése érdekében.	Business strategy to shorten the consumer's ownership period to increase sales volume.
<b>U</b>	
<b>Újrahasználat</b>	<b>Reuse</b>
Termék vagy anyag újbóli felhasználása, akár ugyanazon funkció céljából.	Using a product or material again, for the same function.
<b>Újrafeldolgozásra tervezés</b>	<b>Design for recyclability</b>
Tervezési elv, amely életciklus végén a termék újra feldolgozására törekszik.	Design principle that calls for the end-of-life accounting of how the product will be collected and recycled.
<b>Újrafeldolgozás</b>	<b>Recycling</b>
A hulladékok összegyűjtése, válogatása és feldolgozása egy másik gyártási folyamatban történő felhasználásra.	The collection, sorting and processing of waste materials for use in another manufacturing process.
<b>Újrahasznosítás</b>	<b>Recovery</b>
Anyag, energia vagy víz kinyerése a hulladékáramból azok újrahasználatára vagy újrafeldolgozására céljából.	Process of extracting material, energy or water from the waste stream for reuse or recycling.
<b>V</b>	
<b>Városi bányászat</b>	<b>Urban mining</b>
Ritka fémek kinyerése városi hulladékból.	Urban mining is a process of recovering rare materials from city waste.



<b>Visszavételi program</b>	<b>Take-back program</b>
A felhasznált termékek vagy anyagok begyűjtése, és feldolgozása, gyártási ciklusba történő visszavezetés céljából.	An initiative to collect used products or materials from consumers and reintroduce them to the original processing and manufacturing cycle.
<b>Z</b>	
<b>Zéró hulladék</b>	<b>Zero-waste</b>
Olyan logikai megközelítés, amely az újrahasznosításnál (recycle) is hatékonyabb megoldásokat keres a hulladékgazdálkodás tekintetében. Ennek alapja az, hogy a termékeket örök életűnek, azaz újrafelhasználhatónak (reusable) gyártják. Vagyis egyszerűbben megfogalmazva, a zéró hulladék mozgalom célja az, hogy a hulladéktermelés helyett mindent használjunk újra – meg újra, szemben az egyszer használatos megközelítéssel. Így elkerülhetjük, hogy hulladék kerüljön a természetbe, hiszen minden már nem használatos, zéró hulladék gondolkodásmóddal készült termék "élete" végén is megtalálja az új, hasznos helyét a természetben.	The term zero waste literally means zero waste. In fact, it is a logical approach that seeks more efficient solutions for waste management than recovery. This is based on the fact that the products are made eternal, ie reusable. In other words, the goal of the zero-waste movement is to use everything over and over again instead of producing waste, as opposed to the one - size - fits - all approach. In this way, we can avoid the release of waste into nature, as all products that are no longer used, made with the zero-waste mindset, will find their new, useful place in nature at the end of their "lives".
<b>Zöld átállás</b>	<b>Green transition</b>
Az éghajlatváltozás és a környezet károsodása egzisztenciális veszélyt jelent Európa és az egész világ számára. E problémák kezelése érdekében az európai zöld megállapodás az EU gazdaságát modern, erőforrás-hatékony és versenyképes gazdasággá fogja átalakítani.	Climate change and environmental degradation are an existential threat to the European Union and to the world. To overcome these challenges, the European Green Deal is Europe's new growth strategy, which will transform the Union into a modern, resource-efficient and competitive economy.
<b>Zöld felár</b>	<b>Green Premium</b>
Az a költségkülönbség, mely a karbon kibocsátást okozó termék és az ugyanolyan célú, ám alacsony vagy nulla karbon kibocsátást eredményező termék ára között van. Például: az Egyesült Államokban az elmúlt néhány évben egy gallon sugárhajtómű-üzemanyag átlagos kiskereskedelmi ára 2,22 dollár körül mozgott, míg a sugárhajtású fejlett bioüzemanyagok gallononként 5,35 dollárba kerültek. A Zöld felár a kettő közötti különbség, 3,13 dollár, vagyis több mint 140 százalék. ( <i>Gates 2021</i> )	Green Premium is the difference in cost between a product that involves emitting carbon and an alternative that involves low or zero emitting carbon. Here's an example of a Green Premium: The average retail price for a gallon of jet fuel in the United States over the past few years has been around \$2.22, while advanced biofuels for jets cost around \$5.35 per gallon. The Green Premium is the difference between the two, which is \$3.13, or an increase of more than 140 percent. ( <i>Gates 2021</i> )
<b>Zöld megállapodás</b>	<b>Green deal</b>
Az Európai Bizottság javaslatokat fogadott el annak érdekében, hogy éghajlat-, energia-, közlekedés- és adópolitikája révén az EU 2030-ra legalább 55%-kal csökkenteni tudja a nettó üvegházhatásúgáz-kibocsátást az 1990-es szinthez képest. Nagyon fontos, hogy az előttünk álló évtizedben ilyen mértékű kibocsátáscsökkentést tudjunk elérni. Ez ugyanis előfeltétele annak, hogy Európa 2050-re a világ első klímasegélyes földrészévé váljon, és megvalósuljanak az európai zöld megállapodásban kitűzött célok	The European Commission adopted a set of proposals to make the EU's climate, energy, transport, and taxation policies fit for reducing net greenhouse gas emissions by at least 55% by 2030, compared to 1990 levels. Achieving these emission reductions in the next decade is crucial to Europe becoming the world's first climate-neutral continent by 2050 and making the European Green Deal a reality.
<b>Zöld tervezés</b>	<b>Green engineering</b>
Termékek és folyamatok tervezése a környezeti hatások minimalizálása és az emberi egészség védelme érdekében a gazdasági érték veszélyeztetése nélkül.	Designing products and processes to minimize environmental impacts and protect human health without compromising economic value.

## IRODALOMJEGYZÉK

Gates B. (2021). Introducing the Green Premiums. <https://www.gatesnotes.com/Energy/Introducing-the-Green-Premiums> Letöltve: 2021. 08.15.

Circular Economy (2021). Glossary - Circular Economy Guide. <https://www.ceguide.org/Glossary> Letöltve: 2021. 06. 15.

## A SZERZŐ



**MAJOR VERONIKA**, egyetemi doktor, okleveles gépészmérnök (Budapesti Műszaki Egyetem), jogi szakokleveles mérnök (Eötvös Loránd Tudományegyetem). A Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség alelnöke, a Műszaki Igazságügyi Szakértői Testület tagja, a Magyar Hidrológiai Társaság Hidrológiai Közlöny szerkesztőbizottsági tagja, Benedek Pál-díjas.