

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY

HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 105. ÉVF. 3. SZÁM • 2025
JOURNAL OF THE HUNGARIAN HYDROLOGICAL SOCIETY • VOL. 105, ISSUE 3 • 2025



<https://doi.org/10.59258/HK>



Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

Főszerkesztő

Major Veronika

Főszerkesztő-helyettes és olvasószerkesztő

Konecsny Károly

Szakszerkesztő

Ács Éva

Szerkesztőbizottság elnöke

Szöllősi-Nagy András

Szerkesztőbizottság tagjai

Ács Éva, Bakonyi Péter, Baranyai Gábor, Baross Károly, Bíró Tibor, Bódis Gábor, Bozán Csaba, Csörnyei Géza, Engi Zsuzsanna, Fehér János, Fejér László, Gayer József, Hajnal Géza, Honti Márk, Ijjas István, Józsa János, Kerekesné Steindl Zsuzsanna, Keve Gábor, Kling Zoltán, Konecsny Károly, Koris Kálmán, Kovács Sándor, 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
E-mail: titkarsag@hidrologia.hu
Honlap: www.hidrologia.hu
A Kiadó képviselője: Váradi József, a Magyar Hidrológiai Társaság társelnöke



Indexelik

OJS, REAL, ROAD, COMPASS,
MATARKA
HU ISSN 0018-1323,
ISSN 2939-8495 (Online)

Tartalomjegyzék

Major Veronika: Előszó 3

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

Szilágyi József, Báder László, Józsa János: A területi párolgás havi értékeinek becslése 2000 és 2022 között Magyarországon kilométeres felbontásban 4

Chappon Máté, Szalay Miklós, Janák Emil, Szilágyi Ferenc, Bene Katalin: Környezeti vízigények meghatározásának operatív módszertana 13

Lippai Anett: A mikroszkópos biológiai vizsgálatok jelentősége az ivóvíz minőségének ellenőrzésében – egy magyarországi települési ivóvízszennyezés laboratóriumi aspektusainak bemutatása 32

Györki Gábor, Knisz Judit: Per- és polifluoralkil anyagok jelenléte háztartási szennyvizekben és jelentőségük az emberi egészség szempontjából 39

IFJÚSÁGI SAROK

Kovács Rozina Sára: Egy vödör etetőanyag, egy tó sorsa – Horgászat a Balatonban 51

TÖRTÉNELMI PILLANATKÉP

Albert Gábor: A „több, mint hidrológus” Zsuffa István életművéről 56

ESEMÉNYEK

Major Veronika: Magyar Hidrológiai Társaság XLII. Országos Vándorgyűlése 63

Stenger-Kovács Csilla, Buczkó Krisztina, Borics Gábor: Padisák Judit köszöntése 70. születésnapja alkalmából 66

KÖNYVISMERTETÉS

Almási István, Szanyi János: A Pannon-medence hidrogeológiája ... 68

Szlávik Lajos szerk.: A vízügyi szolgálat 70 éve (1953-2023) 70

NEKROLÓG

Kabay Sándor – Fejér László megemlékezése 72

Címlapkép: Nagyon alacsony a Duna vízszintje a Vámoszabadi hídnál (Kertész József fotója)



Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society
Published quarterly

Editor-in-Chief

Veronika MAJOR

Deputy Editor-in-Chief and Copy Editor

Károly KONECSNY

Assistant Editor

Éva ÁCS

Editorial Board Chairman

András SZÖLLŐSI-NAGY

Editorial Board Members

Éva ÁCS, Péter BAKONYI, Gábor BARANYAI, Károly BAROSS, Tibor BÍRÓ, Gábor BÓDIS, Csaba BOZÁN, Géza CSÖRNYEI, Zsuzsanna ENGI, János FEHÉR, László FEJÉR, József GAYER, Géza HAJNAL, Márk HONTI, István IJJAS, János JÓZSA, Zsuzsanna KERESKÉNE STEINDL, Gábor KEVE, Zoltán KLING, Károly KONECSNY, Kálmán KORIS, Sándor KOVÁCS, 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: József VÁRADI,
Co-President of the Hungarian Hydrological Society



Indexed in

OJS, REAL, ROAD, COMPASS,
MATARKA
HU ISSN 0018-1323

ISSN 2939-8495 (Online)

Contents

Veronika MAJOR: Foreword 3

SCIENTIFIC PAPERS

József SZILÁGYI, László BÁDER, János JÓZSA: Estimated
1-km resolution monthly land evaporation in Hungary
between 2000 and 2022 4

Máté CHAPPON, Miklós SZALAY, Emil JANÁK, Ferenc
SZILÁGYI, Katalin BENE: Operational methodology for
determining environmental flow 13

Anett LIPPAI: The importance of microscopic biological analysis
in the control of drinking water quality – the presentation of
the laboratory aspects of the water pollution in a Hungarian
settlement 32

Gábor GYÖRKI, Judit KNISZ: Presence of per- and polyfluoroalkyl
substances in domestic wastewater and their public health signifi-
cance 39

YOUTH CORNER

Rozina Sára KOVÁCS: A bucket of bait, the future of a lake –
Fishing in Lake Balaton 51

HISTORICAL SNAPSHOT

Gábor ALBERT: The legacy of István Zsuffa, who was more than
just a hydrologist 56

EVENTS

Veronika MAJOR: XLII. National Annal Meeting of the Hungarian
Hydrological Society 63

Csilla STENGER-KOVÁCS, Krisztina BUCZKÓ, Gábor
BORICS: Greetings from Judit PADISÁK on the occasion
of her 70th birthday 66

BOOK REVIEW

István ALMÁSI, János SZANYI: Hydrogeology of the Pannonian
Basin..... 68

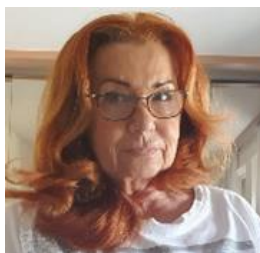
Lajos SZLÁVIK editor: 70 years of the water management service
(1953-2023) 70

OBITUARY

Sándor KABAY – Commemoration by László FEJÉR 72

Cover photo: The water level of the Danube is very low at the Vámoszabadi Bridge
(photo by József Kertész)

Előszó



A Hidrológia Közlöny oldalain hangsúlyosan visszatükröződnek a környezetünk és vele együtt a vízgazdálkodás aktuális kihívásai is. A változó klimatikus viszonyok, a csökkenő vízhozamok és az újabb és újabb eddig ismeretlen szennyezések

kerülnek a Hidrológiai Közlöny 105. évfolyamának harmadik számának (2025/3) a fókuszába.

A globális felmelegedés okainak és következményeinek vizsgálatához egyre nagyobb az igény a vízmérleg párolgás tagjának adataira. *Szilágyi József, Báder László és Józsa János*: „A területi párolgás havi értékeinek becslése 2000 és 2022 között Magyarországon kilométeres felbontásban” című hiánypótló műben a szerzők a kutatási eredményeikkel hathatósan segítik a kutatók és a tervezők munkáját.

Chappon Máté, Szalay Miklós, Janák Emil, Szilágyi Ferenc és Bene Katalin: „Környezeti vízigények meghatározásának operatív módszertana” című közleménye az operatív vízkészlet-gazdálkodás területén jelent segítséget a szakemberek számára.

Egy magyarországi település vízszennyezésének bemutatásával, továbbá korábbi esettanulmányok ismertetésével mutat rá *Lippai Anett*: „A mikroszkópos biológiai vizsgálatok jelentősége az ivóvíz minőségének ellenőrzésében – egy magyarországi települési ivóvízszennyezés laboratóriumi aspektusainak bemutatása” című dolgozatában a mikroszkópos vizsgálatok fontosságára.

Györki Gábor és Knisz Judit: „Per- és polifluoralkil anyagok jelenléte háztartási szennyvizekben és jelentőségük az emberi egészség szempontjából” című közleménye az „örök vegyi anyagokként” is nevesített, a környezetben és az emberi testben is megmaradó anyagok veszélyességére hívja fel a figyelmet.

Az új rovatunk – az IFJÚSÁGI SAROK – a Hidrológiai Közlöny elkötelezettségét tanúsítja a szakemberek következő generációjának nevelésében. Ezen küldetés fényében a rovar teret ad a középiskolás diákoknak kutatási eredményeik bemutatására. Elsőként *Kovács Rozina Sára*: „Egy vödör etetőanyag, egy tó sorsa – Horgászat a Balatonban” című tanulmányát ismertetjük, mely a 2025-ös Stockholmi Junior Víz Díj magyar versenyére készült.

TÖRTÉNELMI PILLANATKÉP rovatunk *Albert Gábor*: „A „több, mint hidrológus” Zsuffa István életművéről” című közleményének segítségével Zsuffa István

(1933-2004) munkásságának és színes személyiségének állít emléket. A mérnöknek, a hidrológusnak, a tanárnak és az embernek, aki az egykori kortársak és volt diákok emlékezetében ma is elevenen él, akinek nevét Szakkollégium őrzi a bajai Víz tudományi Karon.

Az ESEMÉNYEK rovatban számolunk be az MHT XLII. Országos Vándorgyűléséről, melynek 2025-ben Székesfehérvár adott otthont. A Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KDTVIZIG) vendéglátásával rendezett Vándorgyűlés 351 résztvevője gazdag tudományos programon és szakmai kiránduláson vehetett részt.

Szintén az ESEMÉNYEK rovatban köszöntjük Padisák Judit professzor asszonyt 70. születésnapja alkalmából.

A KÖNYVISMERTETÉS rovatban *Almási István és Szanyi János*: „Hydrogeology of the Pannonian Basin” című angol nyelvű könyvét mutatjuk be. A művet a Magyar Hidrológiai Társaság a XLII. Vándorgyűlésén a 2025. évi nívódíjával tüntette ki.

„A vízügyi szolgálat 70 éve (1953-2023)” című könyv bemutatásának ugyanezen rovat ad helyet. A Vízügyi Közlemények különszámaként, *Szlávik Lajos* szerkesztésében megjelent kötetben a vízügyi szolgálat történetének bemutatását követően helyet kapott az 50 éves Magyar Környezetvédelmi és Vízügyi Múzeum (az esztergomi Duna Múzeum), illetve a Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltár rövid ismertetése is.

A NEKROLÓG rovatunkban tisztelettel búcsúzunk Kabay Sándor mérnöktől, aki évtizedeken keresztül példamutatóan szolgálta a vízügyi ágazatot. Aki szerteágazó szakmai tevékenysége mellett jelentős időt és energiát fordított a karitatív tevékenységre is. Szakmai teljesítménye és emberi magatartása példamutató mindannyiunk számára.

Köszönetemet fejezem ki a szerzőknek, a bírálóknak és a szerkesztőbizottságnak, hogy munkájukkal segítették a kötet megjelenését.

A Hidrológiai Közlöny 2025-ben külön kötetben jelentette meg második angol nyelvű számát. A 2026-ban kiadásra kerülő harmadik angol kötetünkhöz is várjuk a magyar nyelvű dolgozatokhoz hasonlóan magas tudományos színvonalú angol nyelvű közleményeket! Az angol nyelvű kéziratokra vonatkozó közlési útmutató letölthető: <https://tinyurl.com/5c32k7br>. Good luck!

Dr. Major Veronika
a Hidrológiai Közlöny főszerkesztője

A területi párolgás havi értékeinek becslése 2000 és 2022 között Magyarországon kilométeres felbontásban

Szilágyi József^{1,2}, Báder László¹, Józsa János^{1,2}

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék. 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3, K épület magasszint 12. (e-mail: szilagyi.jozsef@emk.bme.hu)

² Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Laboratórium, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

DOI: 10.59258/hk.20549



Kivonat

A globális felmelegedés okainak és következményeinek vizsgálatához egyre nagyobb az igény a vízmérleg párolgás tagjainak adataira. A területi párolgás egyre pontosabb becslése lehetővé vált a termodinamikai törvényekre épülő komplementáris módszer fejlődésével öt alapvető meteorológiai változó alapján (nettó sugárzás, levegőhőmérséklet, harmatpont, légnyomás és szélesség). ERA5-Land adatok felhasználásával készítettünk 0,1° térbeli felbontású párolgástérképeket Magyarországra a 2000-2022-es időszakra havi időbeli bontásban, majd távérzékeléssel mért MODIS felszínhőmérséklet adatok alapján megnöveltük a térbeli felbontást 1-km-re. A párolgás sokéves magyarországi átlagára 538 mm/év (a csapadék 89%-a) adódott, amely országos szinten 0,42 mm-el nőtt évente. A párolgás térbeli és időbeli változásainak értelmezése azonban további széleskörű vizsgálatokat kíván. Ennek érdekében megosztjuk az eredményeket egy mindenki számára ingyenesen elérhető oldalon (figshare.com). Célunk a hazai vízgazdálkodás segítése mind a felhasználói, mind pedig a szakmai oldalról.

Kulcsszavak

Területi párolgás, hatványkitevős komplementáris összefüggés, evapotranszpiráció, ERA5-Land reanalízis, MODIS felszíni hőmérséklet.

Estimated 1-km resolution monthly land evaporation in Hungary between 2000 and 2022

Abstract

There is a growing need for reliable estimates of evaporation for the analysis of the causes and consequences of global warming. Estimation of land evaporation rates, based on five basic meteorological variables (net radiation, air temperature, dew point, wind speed and air pressure) has become possible with the development of the complementary relationship of evaporation. With the help of ERA5-Land data, we prepared 0.1° resolution evaporation maps for Hungary on a monthly basis for the period of 2000-2022, and then using MODIS surface temperature values measured by remote sensing, we increased the spatial resolution to 1-km. The mean annual value of land evaporation became 538 mm/year for the study period, with a linear increase of 0.42 mm per year. Interpreting spatial and temporal changes in evaporation, however, requires further studies. In order to facilitate this process and aid stakeholders and experts in shaping the future of water resources management in the country we share the results. The data are freely accessible to anyone at figshare.com.

Keywords

Land evaporation, power function complementary relationship of evaporation, evapotranspiration, ERA5-Land reanalysis, MODIS land surface temperature.

BEVEZETÉS

A hatékonyabb hazai vízkészletgazdálkodás elősegítése érdekében egy mindenki számára ingyenesen hozzáférhető, az egész országot lefedő párolgás-adatbázis létrehozása már régóta időszerűnek tűnik. Ez különösen így van a változó klíma és a jelenleg Magyarországon felélénkült, a vizet és az azzal való ésszerű és hatékony gazdálkodást központba helyező közéleti diskurzus tükrében. A most közzétetthez hasonló módszerrel és részletességgel készült számítások több mint egy évtizede készültek utoljára Magyarországra (Szilágyi és Kovács 2010, Kovács 2011).

Jelen munkánkkal mindössze annyi a célunk, hogy akik a témában érintettek, azoknak legyen hova nyúlniuk, legyen egy közös „alapadat”, amikor eszmét cserélnek a múlt és jövőbeni trendekről, érintse az a Duna-Tisza közti homokhátságot vagy tavaink jövőbeni sorsát. A párolgás megítélése változóban van: „a vízmérleg legnagyobb veszteségi tagja” mennyiségi értelmezés mellett egyre hangsúlyosabbá válik funkcionális szerepének vizsgálata a víz- és

légműködésben. A víz jóval több mint erőforrás és szükséglet, a víz párolgása felértékelődött, mint a víz- és energiamérlegben az éghajlati energia szállításának hatékony és mással nem pótolható módja (Báder és Szilágyi 2023, El-lison és társai 2024, Báder 2025).

Természetesen nem állítjuk, hogy a becsült értékek a teljes igazságot tükrözik. Ezt már csak azért sem tehetjük, mert a becsült párolgásértékek validálásához használt mérések is komoly bizonytalansággal terheltek. A vízmérlegekben alkalmazott pontbeli csapadékmérések alulbecslése, különösen széles időben (és havazáskor) közismert (Dingman 2015), és akkor még nem említettük a pontbeli mérések térbeli reprezentativitását, valamint a pontbeli mérések interpolációjából adódó további bizonytalanságokat (Dingman 2015). A párolgás modern, nagyfrekvenciás örvény-kovariancia alapú mérése is akár 30%-ot meghaladó alulbecsléssel járhat (Liu és társai 2024). Tovább bonyolítja a képet, hogy a különböző meteorológiai adatbázisok változói is nagy szórást mutathatnak ugyanazon

pontra vonatkoztatva, megint csak a csapadéértékek esetében a legjelentősebben, mint ahogy azt *Négyesi és Nagy (2024)* illusztrálta két hazai kisvízgyűjtőre. Szerencsére azonban, egyre több hazai és nemzetközi meteorológiai és hidrológiai adatbázis ingyenesen hozzáférhető, ami nem volt jellemző még akár 20 évvel ezelőtt sem.

A PÁROLGÁSBECSLŐ MÓDSZER ÉS A FELHASZNÁLT ADATOK RÖVID ISMERTETÉSE

A komplementáris párolgásbecslés módszere

A területi párolgás (E , más szóval evapotranspiráció) havi léptékű, $0,1^\circ$ -os térbeli felbontású becsléséhez a komplementáris összefüggés (*Bouchet 1963*) *Szilágyi és társai (2022)* által kidolgozott dimenziómentes hatványkitevős alakját alkalmaztuk:

$$\frac{E}{E_p} = 2 \left(\frac{w_i E_w}{E_p} \right)^b - \left(\frac{w_i E_w}{E_p} \right)^{2b-1}. \quad (1)$$

Itt E_p és E_w a potenciális, illetve nedves környezeti párolgást jelöli, előbbi egy maximum szántóföldnyi kiterjedésű nedves felszínre vonatkozik, amely a vele érintkező levegő tulajdonságait csak elenyésző mértékben képes módosítani, míg utóbbi egy regionális kiterjedésűre (a terület km^2 -ekben mérhető), amely már jelentősen alakítja a környező levegő hőmérsékletét és páratartalmát. A $w_i [= (E_p^{dry} - E_p) / (E_p^{dry} - E_w)]$ változó a környezet nedvességi mutatója. A w_i értéke nedves környezetben egységnyi, amikor E_p megegyezik E_w -vel. Teljesen kiszáradt felszín felett w_i értéke nulla, amikor E_p , a földfelszínen rendelkezésre álló adott nettó sugárzás (R_n) mellett, a maximális (E_p^{dry}) értéket veszi fel. A hatványkitevő ($b \geq 1$) értéke térben (esetleg időben is) változó, gyakran $b = 2$ körüli értékkel (*Szilágyi és társai 2017, 2022, Szilágyi 2023*). *Szilágyi és társai (2024)* globális léptékű tanulmánya hazánkra $1,8$ körüli értéket prognosztizált, amit a jelen tanulmányban alkalmazott kalibráció is megerősített, így (1)-ben b $1,8$ -es értékkel szerepel.

A potenciális párolgás, E_p (mm/nap), értéke a *Penman (1948)* egyenlettel számítható:

$$E_p = \frac{\Delta(T_a)R_n}{\Delta(T_a) + \gamma} + \frac{\gamma f_u [e^*(T_a) - e_a]}{\Delta(T_a) + \gamma} \quad (2)$$

ahol T_a ($^\circ\text{C}$) a levegő (talajközeli) hőmérséklete, e_a és e^* (hPa) az aktuális, illetve T_a -n számított telítési párányomása, $\gamma [= c_p p / (0,622L)]$ a pszichrometrikus konstans (hPa/ $^\circ\text{C}$), ahol c_p a száraz levegő specifikus hőkapacitása [$1005 \text{ J}/(\text{kg K})$], állandó, p , nyomáson és L a víz párolgási hője ($2,5 \text{ MJ/kg}$). Az $f_u [= 0,26 (1 + 0,54u_2)]$ változó egy empirikus szélfüggvényt jelöl mm/(nap hPa) mértékegységben, amiben u_2 (m/s) a 2 méteren mért szélsébség. Az R_n (2)-ben mm/nap-ban értendő, amit $R_n \text{ W/m}^2$ értékéből [$8,64 \cdot 10^7 / (L\rho_w)$]-val való szorzással kapunk, ahol ρ_w a víz sűrűsége ($\approx 1000 \text{ kg/m}^3$). Célszerű lehet még az $u_2/u_h = (2/h)^{1/7}$ hatványkitevős formula (*Brutsaert 1982*) alkalmazása, hogy a h magasságban (gyakran 10 m -en) mért szélsébség (u_h) értékét a kívánt 2 m -es értéké alakítsuk. Végezetül $\Delta(T_a)$ a telítési párányomásgörbe meredeksége [$= 4098 e^*(T_a + 237,3)^2$] (hPa/ $^\circ\text{C}$) T_a hőmérsékleten, amennyiben e^* -t a *Tetens (1930)* formulából nyerjük:

$$e^*(T_a) = 6,108 e^{\frac{17,27T_a}{237,3 + T_a}}. \quad (3)$$

E_p^{dry} értéke szintén (2)-ből kapható meg azzal a módosítással, hogy e_a nulla, és kiszáradt környezetben a levegő hőmérséklete $T_a^{dry} = T_a + e_a/\gamma$ lesz (amit a meteorológiában ekvivalens hőmérsékletnek hívnak), adott R_n mellett. Kiszáradt környezetben ($e_a = 0$) E_p tehát a maximális (E_p^{dry}) értékét veszi fel T_a^{dry} hőmérsékleten, és ez kerül w_i -be. Vegyük észre továbbá, hogy az aktuális párányomás, e_a , értéket megkaphatjuk (3)-ból, amennyiben azt a harmatponti hőmérsékletre (T_d) alkalmazzuk, azaz $e^*(T_d) = e_a$.

A nedves környezet párolgását, E_w -t, a *Priestley-Taylor (1972)* egyenlet segítségével becsülhetjük:

$$E_w = \alpha \frac{\Delta(T_w)R_n}{\Delta(T_w) + \gamma} \quad (4)$$

ahol a nedves környezet léghőmérsékletét, T_w -t, a következő implicit egyenletből iterációval kaphatjuk meg:

$$\frac{R_n - E_p}{E_p} = \gamma \frac{T_w - T_a}{e^*(T_w) - e_a} \quad (5)$$

a $T_w < T_a$ felső korlát alkalmazásával. Erre azért van szükség, mert (5) igazából a nedves felszín hőmérsékletére ad becslést, ami magas relatív páratartalom mellett magasabb lehet, mint az aktuális léghőmérséklet (*Szilágyi 2023*) míg ugyanez a nedves környezet léghőmérsékletére már nem igaz, hiszen egy megnövelt párolgási szint (azonos R_n mellett) hűvösebb levegőt kell, hogy eredményezzen. A (4)-es egyenletben szereplő α együttható értékét gyakran konstansnak veszik az $(1 - 1,31)$ -es intervallumból, de az újabb kutatási eredmények szerint (*Andreas és társai 2013*) α megkapható a következő összefüggésből:

$$\alpha = \frac{\Delta(T_w) + \gamma}{\Delta(T_w) + c\gamma} \quad (6)$$

ahol c egy univerzális állandó, aminek értékét *Andreas és társai (2013)* $0,4$ -ben határozták meg, és amit jelen tanulmányban is alkalmaztunk.

A komplementáris összefüggés jelen tanulmányban alkalmazott hatványkitevős alakjáról részletesebb magyar nyelvű leírás *Szilágyi (2023)* tanulmányában olvasható.

A párolgás számításához felhasznált adatok

Az (1)-es egyenlet alkalmazásához öt bemenő meteorológiai változó szükséges: nettó sugárzás (R_n), levegőhőmérséklet (T_a), harmatpont (T_d), légnyomás (p) és szélsébség (u_2). Az R_n , T_a , T_d , és p adatokat közvetlenül az ECMWF ERA5-Land (*Muñoz-Sabater és társai 2021*) $0,1^\circ$ -os globális adatbázisából töltöttük le a 2000-2024-es időszakra (ami hazánkban nagyjából 10-km -es felbontásnak felel meg). Ezt tartják ma az egyik legpontosabb globális ún. reanalízis (azaz a mért és modellezett értékek – két, bizonytalansággal terhelt információ – optimális kombinációját alkalmazó) adatbázisnak. Mivel a komplementáris összefüggés két paraméterét (b és c) magyarországi adatokkal kalibráljuk, így Magyarországra feltétlenül pontosabb becslést várunk, mint bármely globális modell párolgásértékeinek alkalmazásával, különösen korábbi összehasonlítások fényében (*Kim és társai 2019*), ahol a komplementáris összefüggés pontosabbnak bizonyult bármely

vizsgált globális modell becsléseinél. A szélesebb havi értékeit az ERA5-Land adatbázis nem tartalmazza megfelelő formában (csak a keleti u_{10} és északi v_{10} szélirány komponensek órási adatait), amely használata jelentős adatelőkészítő munkát jelentene, ezért helyette az ERA5 0,25°-os w szélerősség havi adatait töltöttük le és skáláztuk át 0,1°-ra. Az ECMWF ERA5-Land terméke is az ERA5 alapján készült (Hersbach és társai 2020) a modellnek a szárazföld felszínére nagyobb felbontásban történő újra futtatásával.

A HungaroMet (korábban Országos Meteorológiai Szolgálat – OMSZ) hasonló felbontású ingyenes adatbázisa (URL3) sajnos nem tartalmazza R_n értékeit, csak globál-sugárzás értékeket, aminek R_n -né való átalakítása további bizonytalanságot vinne a kiindulási adatokba. Amennyiben mód van rá, úgy a különböző forrású bemenő adatok alkalmazása általában kerülendő az azonos forrásúakkal szemben az alkalmazott mérési, területi/időbeli reprezentativitás, adatminősítési stb. eltérések miatt, ezért az ERA5-Land adatait használtuk a számításokhoz. Egyetlen kivételt a csapadékadatok (P) alkalmazása esetében tetünk, amikor is a HungaroMet (méréseken és térbeli interpoláción alapuló) bizonyítottan pontosabb adatait tekintettük mérvadónak (Négyesi és Nagy 2023), amely az (1)-es egyenlet vízgyűjtő-léptékű, vízmérlegen alapuló kalibrációjához kellett (b értékének meghatározásához). A többéves átlag vízmérlegből a vízgyűjtő-szintű párolgást a többéves átlag csapadék és lefolyás (Q , vízhozam) különbözetként számítottuk, mivel a vízgyűjtő vízkészletében bekövetkező esetleges változás többéves távlatban jellemzően elhanyagolható (Senay és társai 2011) a be- (P) és kimenő (E és Q) kumulált vízmennyiségekhez képest.

Sajnos az ERA5-Land nettó sugárzás (R_n) adatai a 2023-as évre kiugróan alacsony értékeket (kb. a normál érték felét) adnak Magyarországra, aminek okát nem ismerjük. Ezért a számítások eredményeit csak a 2000-2022-es időszakra közöljük, a példaként bemutatott trendekkel együtt.

A térbeli felbontás növeléséhez felhasznált adatok és a párolgás leskálázásának módszere

Az ERA5-Land adatok alapján számított 0,1°-os párolgásértékeket (E) havi értékekre átlagolt 8-napos kompozit MODIS (Wan és társai 2015) felszíni hőmérsékletek (T_s) segítségével finomítottuk térben a MODIS cellák 1-km-es felbontására. A MODIS Terra műholdja 10:30-kor halad át a h19v04 csempe területén, amely a Magyarországot is tartalmazó területről felvételeket készít, ezekből készül a letöltött MOD11A2 adatsor. Az ERA5-Land minden egyes 0,1°-os felbontású cellájához 12x12=144 MODIS cella tartozik.

A leskálázott nagyobb felbontású párolgástérkép pontjaihoz a következő eljárással rendeltük hozzá a párolgásértéket. Mivel a párolgás hőelvonással jár, a T_s értékek egyenes arányosságot (negatív meredekséggel) mutatnak az E értékeivel (Bastiaansen és társai 1998, Kovács 2011, Szilágyi és Kovács 2010, 2011). Az $E(T_s)$ egyenesek minden 0,1°-os cellára vonatkoztatva átmennek a cella (1) által számolt E és a MODIS T_s értékek cellára átlagolt értékpárjain. Amennyiben az $E(T_s)$ lineáris transzformáció bármely

1-km-es MODIS cellában a 0,1°-os E_w értéknél nagyobb adott, úgy azt lekorlátoztuk E_w értékével, mivel az 1-km²-es területet a regionális lépték alsó határának tekintjük, így ott E maximális értékét E_w kell, hogy szolgáltatassa. Az $E(T_s)$ lineáris transzformáció egy adott 0,1°-os cellán belüli érvényességéhez a MODIS cellák közti albedó, lejtés/kitettség, felszíni érdesség, illetve a magasságbeli változásokat elhanyagolhatónak tekintjük. Szerencsére az ország mérsékelt domborzati viszonyai, általános növényzettel borítottsága olyan, hogy ezen feltételezések általában nem súlyosan sérülnek 1-km²-es felbontásban, kivéve, ha a 0,1°-os cella jelentős részben szabad vízfelszínt is tartalmaz. Ezért a CORINE felszínborítottság adatbázis (URL2) által beazonosított szabad vízfelszínre eső MODIS cellára az $E(T_s)$ transzformáció által számolt E értéket a 0,1°-os cella E_p és E_w értékeinek számtani átlagára cseréltük, mivel Kovács (2011) elemzése szerint sekély tavaink havi párolgása gyakran ezen két érték közé esik. Ez azért lehetséges, mert tavaink víztestjének tavaszi, nyár eleji (illetve napon belüli) melegedése (a vízoszlop tömege miatt) lassabb, mint a nedves környezeté, következésképp az alacsonyabb (délelőtti) felszíni hőmérséklet E_w értékénél magasabb (E_p mindig magasabb vagy egyenlő E_w -vel) párolgási szintet produkálhat. A vízfelszín méretének növelésével azonban a tavak párolgása éves szinten (amikor is sekély és mély tó közötti különbség hőtárolás szempontjából elenyészik) egyre inkább közelíti az E_w értékét, mégpedig azért, mert a vízfelszín érdességi együtthatója a vízfelszín méretével a növényzettel borított felszíné alá csökken, így a kisebb albedóból eredő energianövekményt ez utóbbi ellensúlyozni tudja (Brutsaert 1982) a párolgásra nézve.

Kovács (2011) három domborzati zónában (alföld 200 m alatt, hegyvidék 500 m felett, és dombvidék a kettő közt) a 2000-2008-as időszak minden hónapjára (márciustól novemberig bezárólag) külön-külön meghatározta a transzformációs egyenesek meredekségét. A téli hónapokat a lehetséges hófoltok albedóra gyakorolt jelentős hatása miatt kihagyta, így akkor az egész 0,1°-os cellában az (1) által meghatározott E maradt érvényben. A transzformációs egyenesek meredekségének meghatározásához szüksége volt minden hónapban a zónánkénti leghidegebb (felhőzet által lehetőleg nem befolyásolt) MODIS cella felszíni hőmérsékletére, hogy párosítsa a 0,1°-os cellára (4) által számolt E_w értékkel. Ezen cellák kiválasztása nem objektív, jelentős szubjektív elemet is tartalmazhat, és így nehezen automatizálható. Ezért megtartottuk Kovács (2011) transzformációs egyenleteit oly módon, hogy minden hónapra és magassági zónára az általa meghatározott egyenesekből (évenként egy, és így összesen kilenc a 2000-2008-as időszakra) számolt átlagmeredekséget használtuk (1. táblázat). Kovács (2011) az így meghatározott egyenesek meredekségét a teljes (nem összefüggő) magassági zóna középmagasságára nézve vette szigorúan érvényesnek, és a MODIS cella magasságával lineárisan interpolálta, illetve extrapolálta őket, ugyanis a magassági zónával az egyenesek meredekségei tipikusan nőnek. Ezzel az a probléma lép fel, hogy a 0,1°-os cellákon belül jelentősen eltérő transzformációs egyenletek adódhatnak, illetve a cellák határai mentén az $E(T_s)$ értékek ugrást szenvedhetnek, amennyiben a két szomszédos cella (1) által meghatározott értékei nagyon eltérőek.

1. táblázat. Az alkalmazott $E(T_s)$ lineáris transzformációs egyenletek meredekségei [mm/(hó °C)] havi bontásban és magassági zóna szerint, a negatív előjel nélkül.Table 1. Slopes [mm/(mo °C)] of the applied $E(T_s)$ linear transformations by month and elevation zone, without the negative sign.

	Jan.	Feb.	Már.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szep.	Okt.	Nov.	Dec.
Alföld	3,09	3,09	3,09	4,89	5,64	5,92	5,47	5,06	3,42	4,86	0,73	0,73
Domság	2,04	2,04	2,04	6,71	7,35	7,61	7,26	6,81	4,50	5,17	0,34	0,34
Hegység	3,37	3,37	3,37	10,14	11,46	11,15	12,10	11,64	7,84	4,83	0,02	0,02

Ezeket kiküszöbölendő, jelen munkában egy adott $0,1^\circ$ -os cellán belül ugyanazt a transzformációs egyenest alkalmaztuk a $0,1^\circ$ -os cella átlagmagassága szerinti zónabesorolás alapján, ahol az új zónahatárokat úgy határoztuk meg, hogy a korábbi alföld-dombság-hegység zónák nagyjából megmaradjanak. A $0,1^\circ$ -os átlagmagasságokkal a zónahatárok 120, illetve 250 m-re adódtak. Az $E(T_s)$ transzformációt ezek után elvégeztük minden MODIS cellára úgy, hogy az adott MODIS cella T_s értékét a négy hozzá legközelebb eső $0,1^\circ$ -os cella transzformációs egyenletébe helyettesítettük és a kapott értékeket ún. „inverse-distance” módszerrel súlyoztuk, ahol a súlyszámokat a cellaközép-távolságok negatív gyökével arányosítottuk.

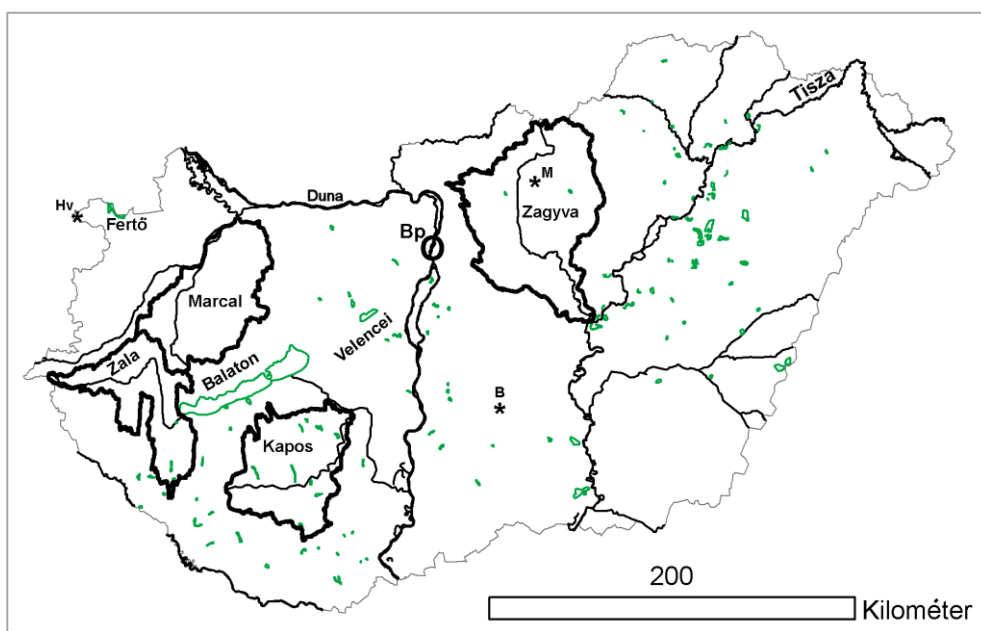
Mivel a 2011 óta eltelt időszakban a hó megjelenése télen tovább csökkent hazánkban, illetve a téli E értékek amúgy is alacsony volta miatt, decemberben a novemberi, míg január-februárban a márciusi meredekségeket hasz-

náltuk a három magassági zónában, így az év minden hónapjára elvégeztük a lineáris transzformációt.

Jelen munka annyiban tér még el Kovács (2011) tanulmányától, hogy a $0,1^\circ$ -os E értékeket a dimenziómentes hatványkitevős komplementáris (1) összefüggéssel számoljuk, míg ő a komplementáris összefüggés Morton (1983) féle verzióját alkalmazta.

Kalibrálás

Az (1) egyenlet két szabad paraméterének (b és c) kalibrálásához a Kovács (2011) által használt vízgyűjtőkre (Hidegvíz-völgy, Kapos, Marcal, Zagyva, Zala) vízmérlegből kapott többéves átlagpárolgásokat, E_{wb} ($= \bar{P} - \bar{Q}$, ahol a felülvonás a többéves átlagot jelöli), alkalmaztuk (Kucsara és társai 2008, URL4). További két CarboEurope (URL1) örvénykovariancia állomás (Bugac és Mátra) méréseit (Nagy és társai 2007, Pintér és társai 2008) is felhasználtuk (1. ábra).

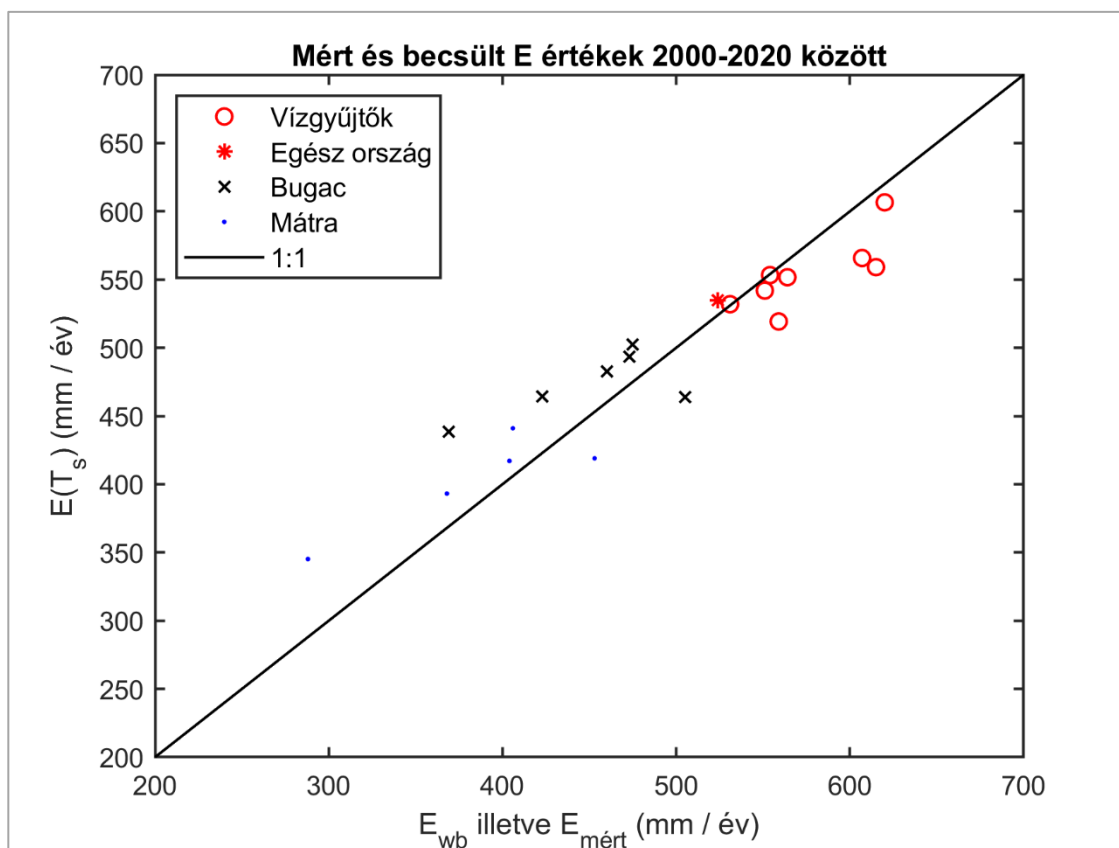


1. ábra. A kalibrációhoz felhasznált vízgyűjtők [Hidegvíz-völgy (Hv), Kapos, Marcal, Zagyva, és Zala], valamint a két CarboEurope örvénykovariancia [Bugac (B) és Mátra (M)] állomás elhelyezkedése. A vízgyűjtők és mérési helyek további részleteiért lásd Szilágyi és társai (2011) tanulmányát

1. Figure 1. Location of the watersheds [Hidegvíz-völgy (Hv), Kapos, Marcal, Zagyva, and Zala] and CarboEurope eddy-covariance sites [Bugac (B) and Mátra (M)] employed for the calibration of (1). See Szilágyi et al. (2011) for further information on the watersheds and measurement sites.

A kalibrálás b értékére a már korábban említett 1,8-as, míg c -re 0,4-es értéket adott. Ezen paraméter értékekkel az (1) egyenlet a mért kvázi-éves (kilenc hónap örvénykovariancia méréseinek összege évenként) illetve vízmérlegből visszaszámolt többéves átlagpárolgások értékeiben megfigyelhető szórás 90%-át ($R^2 = 0,90$) megmagyarázza (2. ábra), ami csak kicsivel rosszabb Kovács (2011) 91%-os eredményétől, aki havonta és évente is változó mere-

dségértékeket használt az $E(T_s)$ lineáris transzformációhoz a 2000-2008-as időszakra. Az örvénykovariancia mérések lábnyoma lényegesen kisebb a MODIS cellák 1-km²-es méretétől, ami ráadásul nemcsak a lábnyom célközvetítet tartalmazhatja, ezért a kalibrációhoz kiválasztott MODIS cella nem fedi le az örvénykovariancia mérések pontos helyét, de a közelben ugyanolyan földhasználatot/növénytakarót tartalmaz hasonló terepszintű magasságban.



2. ábra. A rendelkezésre álló mért ($E_{mért}$, Bugac és Mátra) illetve vízmérlegből (E_{wb}) levezetett, valamint a becsült E értékek összetartozó értékpárjai. A mért értékek minden évben a március-novemberi időszak kilenc hónapjának összege azon évekre, amikor nem volt adathiány 2000-2008 között. A Marcal és Hidegvíz-völgy vízgyűjtőjére E_{wb} a 2000-2008-as időszak átlaga, míg a Kapos, Zala, Zagyva esetében külön a 2000-2008 illetve 2000-2020 időszakok átlagait jelöli. Az egész országot reprezentáló E_{wb} érték a 2000-2006-os időszak éves átlaga. $R^2 = 0,90$

Figure 2. Estimated E values (mm / yr) plotted against available eddy-covariance ($E_{mért}$, Bugac and Mátra) and water-balance derived E_{wb} values. $E_{mért}$ is the sum of nine monthly values (March-November) for each year without missing measurements during 2000-2008. For watersheds Marcal and Hidegvíz-völgy, E_{wb} denotes the mean annual value for 2000-2008 while for Kapos, Zala and Zagyva both for 2000-2008 and 2000-2020. The country-representative E_{wb} value (red star) is for the 2000-2006 period. $R^2 = 0.90$

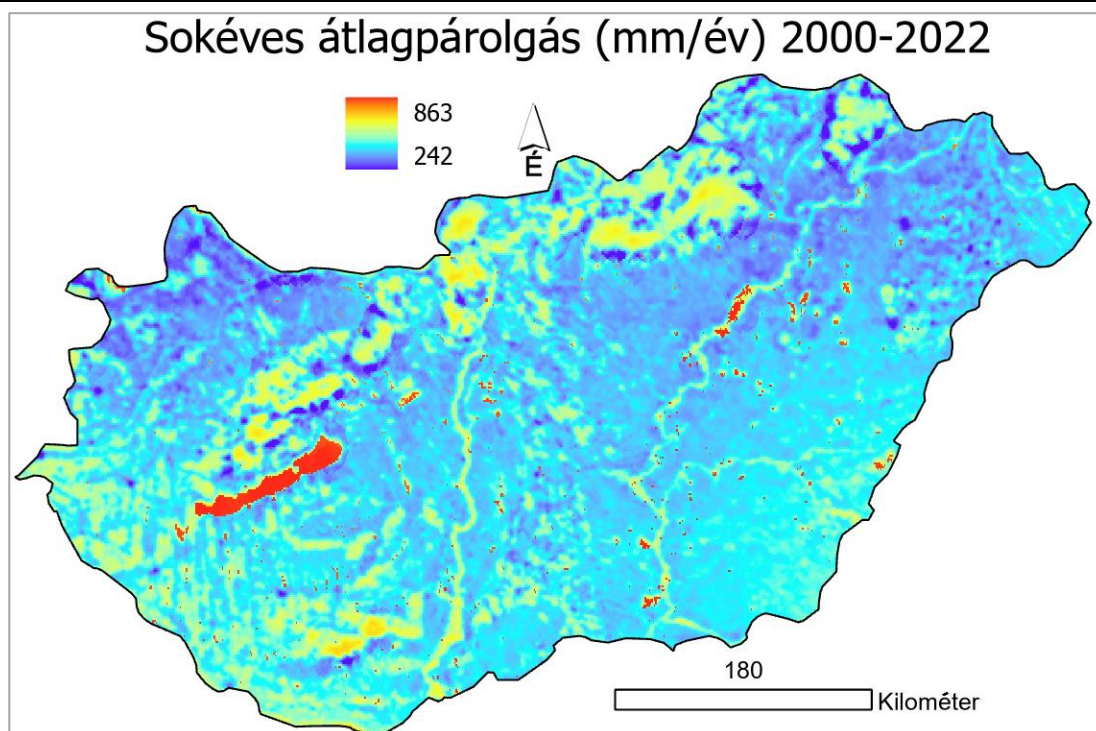
EREDMÉNYEK RÖVID ÁTTEKINTÉSE

A sokéves átlagpárolgást 1-km-es felbontásban a 3. ábra tartalmazza. Az országos átlag 538 mm/év. A városi beépített területek alacsony párolgási értékei (< 400 mm/év) jól kivehetők, míg az erdők, folyóvölgyek, tavaink magas értékekkel szerepelnek. Összességében a párolgás nyugatról kelet felé, illetve délről észak felé (a csapadék eloszlásával szinkronban) csökken.

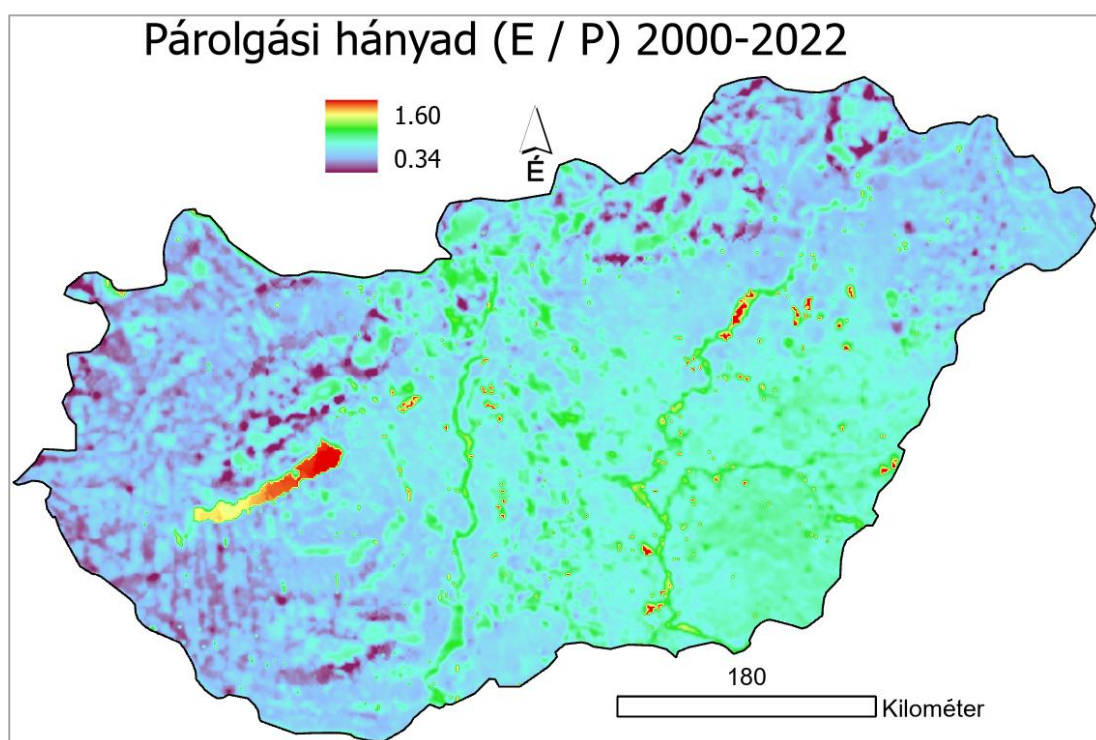
A 4. ábra a sokéves átlagpárolgás és a csapadék (HungaroMet értékek) arányát mutatja be, aminek országra átlagolt értéke 0,89 (89%). A kék színnel jelölt területeken a csapadék elegendőnek tűnik a párolgáshoz, de az is okozhatja a kedvezőnek látszó arányt, hogy a terület párolgató képessége alacsony (például nagyobb városoknál). A zöld színnel jelölt területeken a párolgáshoz szükséges csapadék mennyisége kezd kritikussá válni. A sárga és pi-

ros színnel jelölt területeken a sokéves átlagpárolgás meghaladja a csapadék értékét. Ez nyílt vízfelszínek illetve lápos területek (pl. Kis-Balaton, Fertő) felett figyelhető meg, ahol a hozzáfolyás biztosítja a csapadéknál nagyobb párolgáshoz a vizet.

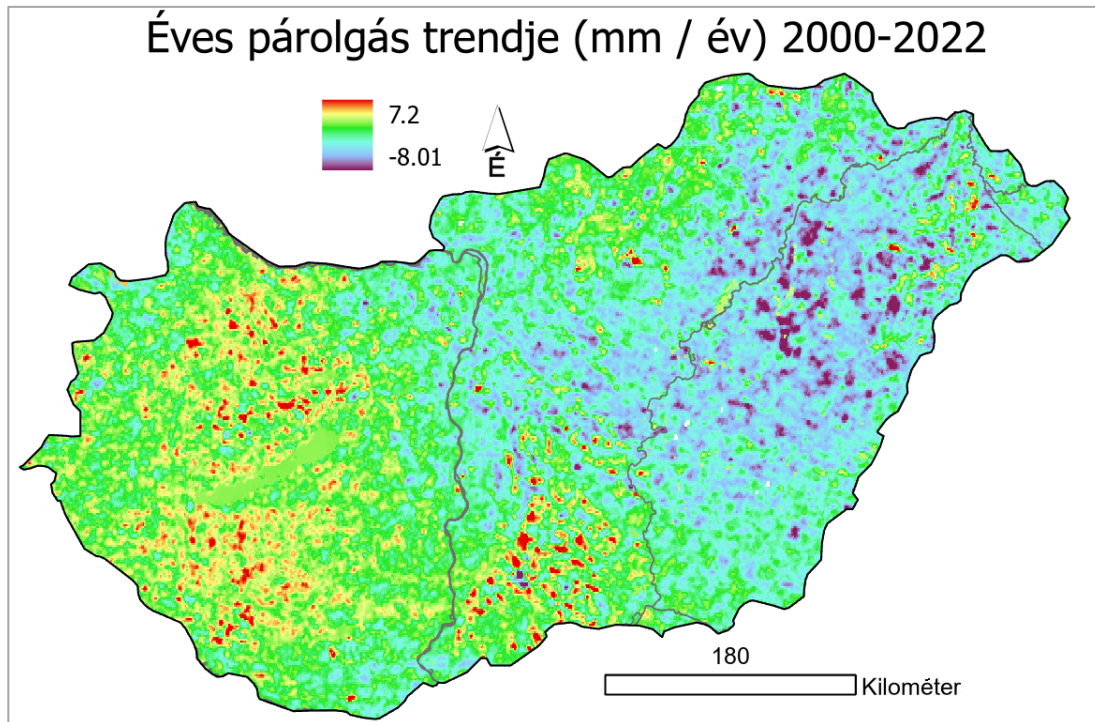
Az 5. ábrán az éves párolgások lineáris trendje látható. Országos szinten a párolgás évi értéke 0,42 mm-el nőtt évente (míg a HungaroMet által mért csapadéké több mint duplájával: 1 mm/év). Nagyobb összefüggő területen csak a Nagyalföld, illetve a Duna-Tisza közének északi részén csökkent a párolgás a vizsgált időszakban. Ennek legfőbb kiváltó oka a csapadékban megfigyelhető hasonló térbeli mintázat. A vizsgált időszak viszonylagos rövideisége miatt a hosszútávú trendeket óvatossággal kell kezelni mivel jelentős mértékben változhatnak egy-egy év elvételével, illetve hozzáadásával a vizsgált időszak végén illetve elején.



3. ábra. A sokéves átlagpárolgás területi eloszlása 1-km-es felbontásban. Országos átlag: 538 mm/év
 Figure 3. Long-term mean annual evaporation in Hungary at 1-km resolution. Country average is 538 mm/yr



4. ábra. A hosszú-idejű párolgási hányad, E/P (-) területi eloszlása. A zöldnél melegebb színek egynél nagyobb értéket jelölnek. Országos átlag: 0,89
 Figure 4. Spatial distribution of the long-term evaporation ratio E/P (-). Warm colours above green denote ratios in excess of unity. Country average is 0.89



5. ábra. Az éves párolgás értékeinek lineáris trendje. Országos átlag: 0,42 mm/év
Figure 5. Linear trend values of the annual evaporation rates. Country average is 0.42 mm/yr

ÖSSZEFOGLALÁS

A párolgásbecslés eredményeinek havi, illetve sokéves átlagértékei MATLAB (ingyenes online verzió elérhető a <https://www.mathworks.com/products/matlab-online/matlab-online-versions.html> címen), valamint text formátumban feltöltésre kerültek a regisztráció után mindenki számára ingyenesen hozzáférhető adatmegosztó (<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.8016979.v1>) oldalra (Szilágyi és társai 2025). Különböző, az adatbeolvasást, illetve megjelenítést segítő scriptek, illetve leírások is megtalálhatók az oldalon. A jövőben tervezzük a feltöltött adatok folyamatos frissítését, különösen, ha megoldást találunk a 2023-as rendkívül alacsony ERA5-Land sugárzásértékek kiváltására más forrásból. A feltöltött adatokkal kapcsolatban további segítségért Báder László kereshető a laszlo.bader@edu.bme.hu email címen.

Csak remélni tudjuk, hogy a legmodernebb eljárással becsült párolgástérképek ingyenes hozzáférésevel segíteni tudunk mindenkit, a helyi gazdálkodótól, vízügyi szakemberen, tájépítészen, szakmapolitikai döntéshozón át, a kutatóig, aki a vízzel való ésszerű gazdálkodásban érdekelt.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők hálása a támogatói háttérnek: i) Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alap TKP-6-6/PALY-2021 projekt; ii) TKP2021-BME-NVA02 pályázati program; iii) Széchenyi Terv Plusz RRF-2.3.1-21-2022-00008 projekt; iv) MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Programja FFT-NP-FTA. Külön köszönet a bírálóknak a konstruktív javaslataikért, illetve Gribovszki Zoltánnak a Hidrográfiai és Vízügyi vizuális adatok megosztásáért.

IRODALOMJEGYZÉK

- Andreas, E.L., Jordan, R.E., Mahrt, L., Vickers, D. (2013). Estimating the Bowen ratio over the open and ice-covered ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, pp. 4334-4345. <https://doi.org/10.1002/jgrc.20295>
- Bastiaanssen, W., Menenti, M., Feddes, R., Holtslag, A. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212, pp. 198-212. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00253-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4)
- Báder, L. (2025). The Climatic Energy Balance Diagram (CEBD) highlights changes in the hydrological cycle of the Danube River basin. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 73(1), pp. 24-33. <https://doi.org/10.2478/johh-2025-000>
- Báder, L., Szilágyi, J. (2023). Widening gap of land evaporation to reference evapotranspiration implies increasing vulnerability to droughts in Hungary. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 67(4), pp. 1028-1037. <https://doi.org/10.3311/PPci.21836>
- Bouchet, R. (1963). Evapotranspiration réelle et potentielle, signification climatique. *International Association of Hydrological Sciences Publications*, 62, pp. 134-142.
- Brutsaert, W. (1982). *Evaporation into the atmosphere: Theory, history, and applications*, Dordrecht. Holland: D. Reidel, p. 299. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-1497-6>
- Dingman, S.L. (2015). *Physical Hydrology*, 3rd Ed., pp. 643. Waveland Press, Long Grove, IL, USA. ISBN 13: 978-1-4786-1118-9
- Ellison, D., Pokorný, J., Wild, M., (2024). Even cooler insights: On the power of forests to (water the Earth and) cool the planet. *Global Change Biology*, 30, e17195. <https://doi.org/10.1111/gcb.17195>

- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730). pp. 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Kovács Á. (2011). Tó- és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai. PhD Értekezés, BME, pp. 101.
- Kim, D., Lee, W.-S., Kim, S.T., Chun, J. A. (2019). Historical drought assessment over the contiguous United States using the generalized complementary principle of evapotranspiration. *Water Resources Research*, 55(7), 6244-6267. <https://doi.org/10.1029/2019WR024991>
- Kucsara M., Gribovski Z., Kalicz P., Víg P. (2008). A Hidegvíz-völgyi Erdészeti Hidrológia Kutatóhely. NYME EMK Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet, pp. 27. ISBN 978-963-9883-24-6
- Liu, S., Feng, Z., Fang, S., Liu, G., Yuan, X., Shang, B., et al. (2024). Assessing the accuracy of eddy-covariance measurement at different source emission scenarios. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 129. <https://doi.org/10.1029/2023JD040701>
- Morton, F.I. (1983). Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *Journal of Hydrology*, 66. pp. 1-76. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(83\)90177-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(83)90177-4)
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G. et al. (2021). ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13, pp. 4349-4383. (<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=overview>) <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>
- Nagy, Z., Pintér, K., Czóbel, S., Balogh, J., Horváth, L., Fóti, S., Barcza, Z., Weidinger, T., Csintalan, Z., Dinh, N.Q., Grósz, B., Tuba, Z. (2007). The carbon budget of semi-arid grassland in a wet and a dry year in Hungary. *Agriculture and Ecosystem Environment* 121(1-2), pp. 21-29. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.003>
- Négyesi K., Nagy E.D. (2023). Esemény alapú csapadék-lefolyás modellezés különböző típusú csapadékatatok használatával. *Hidrológiai Közlöny* 103(3), pp. 44-53. <https://doi.org/10.59258/HK.12339>
- Penman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 193, pp. 120-145. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>
- Pintér, K., Barcza, Z., Balogh, J., Czóbel, S., Csintalan, Z., Tuba, Z., Nagy, Z. (2008). Interannual variability of grasslands' carbon balance depends on soil type. *Community Ecology* 9(Suppl1), pp. 43-48. <https://doi.org/10.1556/ComEc.9.2008.S.7>
- Priestley, C.H.B., Taylor, R.J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2), pp. 81-92. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2)
- Senay, G.B., Leake, S., Nagler, P.L., Artan, G., Dickinson, J., Cordova, J.T., Glenn, E.P. (2011). Estimating basin scale evapotranspiration (ET) by water balance and remote sensing methods. *Hydrological Processes*, 25(26), pp. 4037-4049. <https://doi.org/10.1002/hyp.8379>
- Szilágyi J. (2023). Egy termodinamikai alapú, rugalmas, minimális adatigényű területi párolgásbecslő módszer bemutatása a hazai vízgazdálkodás meg támogatásához. *Hidrológiai Közlöny*, 103(4), pp. 25-34. <https://doi.org/10.59258/hk.13171>
- Szilágyi, J., Kovács, A. (2010). Complementary-relationship-based evapotranspiration mapping (CREMAP) technique for Hungary. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 54(2), pp. 95-100. doi: 10.3311/pp.ci.2010-2.04
- Szilágyi, J., Kovács, A. (2011). A calibration-free evapotranspiration mapping technique for spatially-distributed regional-scale hydrologic modeling. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 59(2), pp. 118-130. <https://doi.org/10.2478/v10098-011-0010-z>
- Szilágyi, J., Kovács, Á., Józsa, J. (2011). A calibration-free evapotranspiration mapping (CREMAP) technique, in Labeledzki, L (ed.) *Evapotranspiration*. INTECH, Rijeka, Croatia, pp. 257-274. ISBN 978-953-307-251-7. <http://www.intechopen.com/books/show/title/evapotranspiration>
- Szilágyi, J., Crago, R., Qualls, R. (2017). A calibration-free formulation of the complementary relationship of evaporation for continental-scale hydrology. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, 122(1), pp. 264-278. <https://doi.org/10.1002/2016JD025611>
- Szilágyi, J., Ma, N., Crago, R.D., Qualls, R.J. (2022). Power-function expansion of the polynomial complementary relationship of evaporation. *Water Resources Research*, 58(11), e2022WR033095. <https://doi.org/10.1029/2022WR033095>
- Szilágyi, J., Ma, N., Crago, R.D. (2024). Revisiting the global distribution of the exponent of the power-function complementary relationship of terrestrial evaporation: insights from an isenthalpic index. *Journal of Hydrology*, 642, 131864. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131864>
- Szilágyi, J., Báder, L., Józsa, J. (2025). Estimated 1km resolution monthly land evaporation in Hungary between 2000 and 2022. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.8016979>
- Tetens, O. (1930). Über einige meteorologische Begriffe. *Zeitschrift für Geophysik*, 6, pp. 297-309.
- Wan, Z., Hook, S., Hulley, G. (2015). MOD11A2 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V006. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.006>
- URL1: <https://www.copernicus.eu/en/carbo-europe-ip>
- URL2: CORINE felszínborítottság adatbázis. Elérhető: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

URL3: HungaroMet (korábban Országos Meteorológiai Szolgálat – OMSZ). Meteorológiai Adattár. Elérhető: https://odp.met.hu/climate/homogenized_data/gridded_data_series/daily_data_series/

URL4: Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF). Vízügyi Adattár. Elérhető: <https://www.ovf.hu/kozerdeku/adatigenyles>

A SZERZŐK



SZILÁGYI JÓZSEF hidrológiai szakágazattal kiegészített okleveles meteorológus diplomáját az ELTE Természettudományi Karán szerzi meg 1989-ben. 1992-ig a VITUKI Országos Vízjelző Szolgálatának operatív hidrometeorológusa. 1994-ben a New Hampshire-i (USA) Egyetemen hidrológiai MSc, majd 1997-ben a Kaliforniai Egyetemen (Davis) PhD fokozatot kap. 2005-ig a Nebraskai Egyetem (Lincoln) hidrológus kutatója, majd a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem docense, illetve 2009-től egyetemi tanára. Jelenleg a Journal of Hydrology szerkesztőbizottsági tagja, az MTA Vízgazdálkodás-tudományi Bizottságának elnöke, 2025-től MTA levelező tag.



BÁDER LÁSZLÓ okleveles villamosmérnök végzettséggel (Cseh Műszaki Egyetem, Prága, 1981) pályáját fejlesztőmérnökként kezdi a VIDEOTON, VILATI, Műszertechnika és PROCOMP vállalatoknál. 1993-tól projekt menedzser, majd minőségügyi vezető az Ericsson-ban. 1998-tól az Oracle-Támogatás üzletágának regionális operatív menedzsere. Tevékenysége bővülése közben MBA majd geográfus diplomát szerez (Pittsburgh 1995, illetve Eszterházy Károly Egyetem, Eger 2020). Jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem doktorandusza az Építőmérnöki Karon, a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéken. Kutatási területe a párolgás becslése és az éghajlati víz-, és energiamérleg alakulásának vizsgálata. 2022 óta a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.



JÓZSA JÁNOS 1981-ben szerzett okleveles építőmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki Egyetemen. VITUKI-s kezdést követően három évig a VIZITERV tervezőmérnöke volt, számos algériai kiküldetéssel. 1985-től tért vissza a VITUKI-ba, a Numerikus Hidraulikai Osztályra, mint tudományos munkatárs. 1990-91-ben egy évet vendégkutató volt a Finn Környezeti Intézetben, ott fokozottan tavi áramlási és elkeveredési folyamatok mérésére és numerikus modellezésére specializálódva. 1993-ban kandidátusi címet szerzett. 1994-től máig a BME oktatója, 13 évig tanszékvezetője, 6 évig rektora. 2003-ban az MTA-doktora, 2013-ban az MTA levelező, 2019-ben rendes tagja. 2020-23 között az MTA Műszaki Tudományok Osztályának elnöke. Jelenleg a Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium Projekt Irányító Testületének elnöke. 2024-ben Széchenyi-díjban részesült.

Környezeti vízigények meghatározásának operatív módszertana

Chappon Máté¹, Szalay Miklós†², Janák Emil², Szilágyi Ferenc², Bene Katalin¹

¹ Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési- és Vízmérnöki Tanszék/Víz-gazdálkodási Kutatócsoport, 9026 Győr, Egyetem tér 1. (email: chappon.mate@sze.hu)

² VTK Innosystem Kft. 1117 Budapest, Prielle Kornélia u. 47-49.

DOI: 10.59258/hk.20604



Kivonat

A Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium Projekt (RRF-2.3.1-21-2022-00008) 6C alprojektje keretében jelenleg is folyamatban levő feladatunk a felszíni vizekre vonatkozó ökológiai vízigények meghatározási módszertanának felülvizsgálata. E tanulmányban az eddigi eredményeinket mutatjuk be.

Az ökológiai vízigény jogszerű alkalmazása az operatív vízkészlet-gazdálkodás területén napjaink alapvető feladatává válik, ugyanakkor a klímaváltozás hatásainak csökkentése, és az azokhoz történő alkalmazkodás keretében egy folyamatosan felülvizsgálandó feladatot is jelent a vízkészlet-gazdálkodók számára. Fontos egy konszenzusos módszertan elfogadása, hogy az ökológiai vízigényre a vízkészlet-gazdálkodás keretében ne csak, mint korlátozó tényezőre tekintünk, hanem úgy is, mint egy olyan fontos vízhasználatra, amely hozzájárul a vizeink jó állapotának eléréséhez, vagy megtartásához, a természetes élővilág fennmaradásához és ezen keresztül a fenntartható és méltányos vízhasználatokhoz is elegendő és jó minőségű vízkészletet biztosít.

A fontosabb fogalmak használatára nemzetközi szakirodalmi áttekintést követően adunk javaslatot. Javasoljuk a környezeti vízigény (environmental flow) fogalmának a bevezetését, amely lehetővé teszi az integrált vízgazdálkodás keretében az élőlénygyűttek szükségleteit leíró ökológiai vízigény és a társadalom vízigényének konszenzusos összehangolását.

A környezeti vízigény meghatározására első lépésben egyszerű, standardizálható, hidrológiai módszertant javasolunk. A módszertan újdonságát adó lényegi eleme, hogy havi bontásban, a vízfolyás vízgyűjtőjének méretétől függően kerül meghatározásra a minimum ökológiai lefolyás értéke és szintén havi bontásban kell meghatározni a 80%-os tartósságú természetes vízkészlet értékét is. A kettő különbözetként számítható hasznosítható vízkészlet pedig a társadalom számára maximálisan hasznosítható vízkészletet – azaz egy-fajta felső korlátot – jelentene. Ez biztosítaná, hogy az így kialakuló – vízhasználatok által befolyásolt – tehát az ökoszisztéma számára ténylegesen rendelkezésre álló lefolyás követné az adott évben megjelenő természetes vízjárás dinamikáját, ugyanakkor lehetővé tenné a vízkészletek hatékonyabb hasznosítását is.

A környezeti vízigény fogalmához igazodva a leírt hidrológiai módszerrel meghatározott ökológiai vízigények egy első közelítést adják a természetes ökoszisztéma fennmaradásához szükséges valós vízállapotoknak. A természet megőrzése érdekében az ökológiai vízigény így kiszámított konkrét értékei felülvizsgálhatók a vízfolyás hidromorfológiai paramétereinek és a biológiai elemek igényeinek figyelembevételével. Szükség esetén – például adathiányos vízgyűjtőkön, védett természeti értékek és/vagy fokozott társadalmi vízhasználati igények mellett – az ökológiai vízigény holisztikus meghatározási módszertan alapján, a társadalmi szereplők által kötött kompromisszum szerint módosítható.

Kulcsszavak

Integrált vízgazdálkodás, operatív vízgazdálkodás, hasznosítható vízkészlet, ökológiai vízigény, környezeti vízigény.

Operational methodology for determining environmental flow

Summary

As part of Subproject 6C of the National Laboratory for Water Science and Water Security Project (RRF-2.3.1-21-2022-00008), we are currently reviewing the methodology for determining ecological water demands related to surface waters. This study presents our findings to date.

The lawful application of ecological water demand in the field of operational water management has become a fundamental task. At the same time, in the context of mitigating and adapting to the impacts of climate change, it represents a continuously revisable responsibility for water resource managers. It is crucial to adopt a consensus-based methodology so that ecological water demand is not viewed merely as a limiting factor within water resources management, but rather as an essential water use that contributes to achieving or maintaining good water status, the survival of natural ecosystems, and, through this, the availability of sufficient and high-quality water resources for sustainable and equitable water uses.

Following a review of the international literature, we provide recommendations on the use of key terms. We propose to adopt the concept of environmental flow requirements, which enables the reconciliation of the ecological water demands – describing the needs of aquatic ecosystems – with the water demands of society within the framework of integrated water resources management.

As a first step in defining environmental flow requirements, we recommend a simple, standardizable hydrological methodology. The key innovative element of this methodology is that the minimum ecological flow value is determined on a monthly basis, depending on the size of the river basin. Similarly, the value of the natural water resource with 80% exceedance probability must also be calculated monthly. The difference between these two values represents the utilizable water resources, i.e., the maximum water quantity available

for use by society – effectively defining an upper limit. This would ensure that the actual runoff available to ecosystems – shaped by water uses follows the natural flow dynamics of a given year, while also enabling more efficient utilization of water resources.

In line with the concept of environmental flow requirements, the ecological water demand values determined using this hydrological method provide a first approximation of the real water conditions necessary for the survival of natural ecosystems. In order to conserve nature, the specific ecological water demand values calculated in this way can be reviewed considering the hydromorphological parameters of the watercourse and the needs of biological elements. If necessary – for example, in data-deficient catchments, or in the presence of protected natural values and/or increased societal water demand – the ecological water demand may be modified based on a holistic assessment methodology, reflecting compromises agreed upon by societal stakeholders.

Keywords

Integrated water resources management, operational water management, utilizable water resources, ecological flow, environmental flow.

BEVEZETÉS

A Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Laboratórium (VVNL; projektszám: RRF-2.3.1-21-2022-00008) Projekt 6C alprojektben belül kijelölt – jelenleg is folyamatban levő – feladatot: „**az operatív vízgazdálkodás területén az ökológiai vízigények meghatározásának metodikai felülvizsgálatát**” a projekt alábbi, tágabb célkitűzéseivel kellett összhangba hozni:

„Magyarországon már ma is versengés alakult ki a vízkészletekért, ezért rugalmasabb vízkészlet-gazdálkodásra van szükség mind az operatív feladatok végrehajtása során, mind a hatósági engedélyezéskor. A vízhasználatok és egyéb terhelések hatásai miatt a Víz Keretirányelv (VKI) szempontrendszerének megfelelő olyan komplex és integrált vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés szükséges, amely figyelembe veszi a térben és időben változó környezeti, gazdasági és társadalmi folyamatokat. A VVNL alprojektjei közvetve, vagy közvetlenül hozzájárulnak a VKI azon általános célkitűzéséhez, hogy a víztestek jó állapota biztosítva legyen, illetve a vizek fenntartható használata, a vízgazdálkodási feladatok fenntartható fejlődést támogató gyakorlata alakuljon ki, amely rövid, közép és hosszú távon teremti meg a fenntartható fejlődés vízkészlet oldalról szükséges alapjait.”

Szükségesnek láttuk tisztázni, hogy az integrált vízgazdálkodás (IVG), illetve vízgyűjtő-gazdálkodás a VKI célkitűzései (WFD 2000) elérésének az eszköze, vagy azon túlmutat? Ehhez irányadónak Ijjas (2019) munkáját vettük.

„A Víz Keretirányelv a vizek jó állapotba hozásának és a jó állapot megőrzésének fontos eszköze, [...] ugyanakkor az integrált vízgazdálkodás többet jelent, mint a Víz Keretirányelv alkalmazása. A Víz Keretirányelv nem foglalkozik a gazdasági fejlődés vízigényeinek kielégítésével, a különböző szektorok vízpolitikai célkitűzéseinek az összehangolásával, a vízgazdálkodás továbbfejlesztésének igényével, a különböző vízpolitikai célok összeegyeztetésével, és azaz, hogyan használják a vízkészleteket a gazdaság inputjaként, a társadalmi haszon maximalizálása érdekében. Ezek a Víz Keretirányelvnek nem is a feladatai! Az azonban nagy probléma, és súlyos gondokat okozhat a vízgazdálkodásban, ha azt hiszik, hogy igen! A VKI előírásainak nagyon fontos szerepe van a környezeti, valamint a gazdasági és szociális politikák, tervek összehangolásában, a konfliktusok feloldásában. Így a VKI az integrált vízgazdálkodás egyik legfontosabb eszköze” (Ijjas 2019).

Tehát az IVG adja a tágabb fogalmi keretet, amelyben az elsődlegesen vízvédelmet szem előtt tartó VKI céljai elérhetőek. Ma már az integrált vízgazdálkodás fogalmát a

világ legtöbb országában és fórumán a Global Water Partnership (GWP 2003) meghatározása alapján az alábbiak szerint értelmezik:

„Az Integrált Vízgazdálkodás egy olyan folyamat, amely elősegíti a vízzel, a tájjal és a kapcsolódó erőforrásokkal történő gazdálkodás összehangolt fejlesztését és irányítását annak érdekében, hogy a gazdasági és társadalmi jólétet a lehető legnagyobb mértékben és méltányos módon lehessen elérni, anélkül, hogy veszélyeztetnénk az alapvető ökoszisztémák fenntarthatóságát.”

Ezt a definíciót alapvető keretként fogadtuk el az ökológiai vízigények módszertanának felülvizsgálata során is.

A szakirodalomban esetenként összemosisodik az integrált vízgazdálkodás (IWM, vagy IVG) és az integrált vízkészlet-gazdálkodás (IWRM, vagy IVKG) fogalma, de fontos, hogy az alábbiak szerint különbséget tegyünk közöttük:

Integrált vízgazdálkodás: Átfogóbb keret, amely hosszú távú stratégiákon alapul, illetve azokat megalapozza, és szélesebb értelemben foglalkozik a vízhasználat, vízkárelhárítás, a fenntarthatósággal és a különböző érintettek (mezőgazdaság, ipar, lakosság, természet) igényei közötti egyensúly megteremtésével. Az integrált vízgazdálkodás fő célja, hogy a vízhasználatot koordinálja, de kevésbé operatív és inkább stratégiai szintű döntéseket jelent.

Integrált vízkészlet-gazdálkodás: egy operatívabb, gyakorlati tevékenység, hiszen az a vízkészletek valós időben történő kezelésére összpontosít, különösen kritikus helyzetekben, például aszály vagy árvizek esetén. Ez jól illeszkedik az operatív vízkészlet-gazdálkodás koncepciójához, amely ilyen szélsőséges esetekben valóban azonnali beavatkozásokat követelhet meg, akár a vízfelhasználási jogok ideiglenes korlátozása árán is, annak érdekében, hogy a vízkészleteket a legfontosabb célokra tartalékolják (pl. ivóvíz vagy az ökoszisztémák megővése).

Jelen munka nehézségét az adja, hogy az ökológiai vízigények meghatározása kapcsán egy olyan stratégiai (integrált vízgazdálkodási) kérdésben kell javaslatot tenni, amely egyben az integrált vízkészlet-gazdálkodásban meghozandó operatív döntéseket kell, hogy közvetlenül támogassa.

Ezidáig nem volt módunk foglalkozni a felszín alatti vizektől függő ökoszisztémák ökológiai vízigényével, valamint az állóvizek ökológiai vízigényével. Továbbá jelen tanulmány nem foglalkozik közvetlenül sem ökológiai, sem társadalmi hasznokkal, vagy a természetes állapotba történő esetleges visszatérés megtérülésének gazdasági

számításaival. Ezeknek a kérdéseknek az alapjait az Integrált Vízgazdálkodás/Vízgyűjtő-gazdálkodás stratégiai tervezése keretében szükséges lefektetni.

Jelen tanulmány egy tetszőleges VKI (WFD 2000) szerinti vízfolyás víztestre vonatkozóan a társadalom által elfogadott ökológiai célkitűzések eléréséhez szükséges, éven belül differenciált hidrológiai jellemzők meghatározásának módszertanát mutatja be.

Első körben szükség volt a szakirodalomban és a jogszabályokban gyakran hiányosan, vagy ellentmondásosan használt fogalmak tisztázására, a jelenlegi helyzet felmérésére, és a témával kapcsolatos koherens és a gyakorlatban is alkalmazható fogalomtárra. A munka eredményeként javasolt fogalmi definíciókat alább foglaltuk össze.

SZAKIRODALMI ÉS JOGSZABÁLYI HÁTTÉR

Fogalmak tisztázása

Korábban alapvetően két nézet ütközött egymással, a vízügyi és az ökológiai szemlélet. A kettő között nem nagyon volt átjárás. Az ökológiai szemlélet az ökoszisztéma érdekeit helyezte előtérbe, míg a vízügyi szemlélet az emberi társadalom igényeit vette elsősorban figyelembe. Az sem volt világos, hogy a mennyiség mellett a minőséget mennyire és hogyan kell figyelembe venni. Az ellentmondásosság kimutatható volt a jogi szabályozásban is, és ezen a VKI sem sokat segített, sőt, bizonyos mértékig – a jogszabályi jellegénél fogva – növelte a zűrzavart. Az alábbiakban néhány alapvető fogalom meghatározásának tisztázása következik mely során igyekeztünk a különböző szakterületek definícióinak szintézisét megtalálni.

Vízkiadás

Az OVF (2013) fogalomtára szerint a vízkészlet:

1. *Meghatározott térrészből adott időpontban vagy adott tartóssággal, illetve valószínűséggel kifolyó vízhozam m^3/s mértékegységben, illetve*
2. *Meghatározott térrészben, adott időpontban található vízmennyiség, m^3 mértékegységben*

Dévai és társai (1998a) szerint: „A vízkészlet egy topográfiai egységhez (pl. víztérhez, vízgyűjtő területhez) kötött, időben változó (dinamikus) vízgazdálkodási sajátosság, ami az adott helyen és az adott időben rendelkezésre álló vízmennyiséggel jellemezhető. Ez egy olyan adottság, amelyet a vízigények kielégítésénél a legtágabb keretként kell értelmezni és elfogadni (beleértve a természetes adottságoknak a lehetőségek és a szükségletek szerinti mesterséges bővítését is).”

Utóbbi fogalmat – a téma szempontjából elfogadtuk: ökoszisztéma centrikus, utal a vízkészletek időben változó, dinamikus jellegére és magában foglalja azt is, hogy a vízkészlet nemcsak az ökológiai, de a társadalmi vízigény kielégítésének is keretfeltétele, valamint számol a vízkészlet antropogén megváltoztatásának lehetőségével is egy adott területen (pl. vízátervezés).

Vízigény

A vízigény a következőképpen definiált az OVF fogalomtárában: „A fogyasztók adott helyre és időszakra vonatkozó, vízfelhasználatra irányuló szándéka” (OVF 2013).

A vízigény általános megfogalmazása szintén Dévai és Aradi (1998) nevéhez fűződik a következők szerint: „A vízigény a különböző típusú vízhasználatok során a vízkészletek meghatározott részét érintő szükséglet, ill. erre vonatkozó szándék vagy követelés.”

Ebben az általános megfogalmazásban is jól láthatóan elkülönül az élőlények vízigénye, mint szükséglet, amibe beleértjük az ember, mint biológiai lény, fiziológiai vízigényét is, valamint a társadalom vízigénye, amely az emberiség fiziológiai szükségletein túlmutató célok kielégítéséhez szükséges vízigény.

Ökológiai vízigény

Az ökológiai vízigény fogalmát egyfelől definiálhatjuk általános érvennyel (a), másrészt pedig a vízkészlet-gazdálkodás szempontjából úgy, mint a társadalmi vízigény számára rendelkezésre álló, hasznosítható vízkészletek meghatározásakor figyelembe veendő lekötött készletet. (b).

a) Ökológiai vízigény általánosan

Az ökológiai vízigényt Dévai és társai (1998b) és Dévai és Aradi (1998) a következőképpen definiálták: „Az ökológiai vízigény az a vízmennyiség és vízminőség, ami valamely földrajzi térség valamennyi adottságához alkalmazkodott élővilág alapvető létfeltételeit korlátozás nélkül biztosítja, azaz a rá jellemző szerkezeti (strukturális) és működési (funkcionális) sajátosságok szabályszerű és folyamatos fenntartásához szükséges”.

Ebben implicit módon benne van az ökológiai vízigény időbeni (pl. éven belüli) dinamikus változása is, hiszen a természetes ökoszisztéma vízigénye nem jellemezhető egy időben állandó vízmennyiséggel.

b) Ökológiai vízigény a vízkészlet-gazdálkodásban

A vízkészlet-gazdálkodás szempontjából az ökológiai vízigény írja le azon korlátok összességét, amely a rendelkezésre álló természetes vízkészletek vízkivétellel történő elvonását limitálja, feltételezve, hogy az így visszamaradó („mederben maradó”) vízkészletek az ökoszisztéma fenntartását biztosítják. E megfontolás mögött az a feltételezés is meghúzódik, hogy az ilyen módon védelmet élvező felszíni vízhez kötődő ökoszisztéma meglétének társadalmi haszna (ökoszisztéma-szolgáltatásainak összértéke) nagyobb, mint a további vízkivételekkel esetlegesen elérhető társadalmi és gazdasági hasznok összege lenne.

Minimum ökológiai lefolyás:

A hagyományos és legelterjedtebben alkalmazott ilyen korlátozás a minimum ökológiai lefolyás, amely megadja azt a minimális vízhozam értéket, amelyet a vízfolyás medréből mesterséges beavatkozással eltávolítani nem szabad. Amennyiben a vízfolyás természetes vízhozama annyira lecsökken, hogy a társadalmi igények kielégítése után a mederben visszamaradó vízhozam a minimum ökológiai lefolyás értéke alá csökkenne, úgy vízkorlátozást (a vízigények kielégítésének átmeneti korlátozását) kell alkalmazni.

Társadalmi vízigény

Az emberi társadalom vízigényének azon részét értjük ide, amely az emberiség fiziológiai szükségletein túlmutató célok kielégítéséhez szükséges. Ezek elkülönítése a fi-

ziológiai vízigénytől nem mindig egyértelműen definiálható, hiszen adott területen, illetve éghajlati körülmények mellett az emberiség számára szükséges ivóvíz biztosítása mellett a tápanyag előállítása öntözéssel, állatok itatásával, halastavak feltöltésével járhat. Ez a túlnépesedés, a túlfogyasztás és az általános fogyasztási szokások (pl. állati alapú fehérjék túlsúlya a tápanyagbevitelben) kérdéseire vezet, mely túlmutat jelen tanulmány keretein.

Jelen tanulmányban, a felszíni vizek ökológiai vízigényének meghatározásához kapcsolódóan a társadalmi vízigényt úgy definiáljuk, mint az a vízhozam, vagy hosszabb időegységre vonatkozó vízmennyiség, amelyet a vízhasználó a felszíni vízkészletből kivenni szándékozik és elhasználnál, vagy időben később vagy térben máshol vezet vissza.

A mederbeli vízhasználat esetén a mederben rendelkezésre álló vízhozamként vagy víztérfogatként elvárt vízmennyiség egyben a vízi ökoszisztéma számára is hozzáférhető marad így ezzel külön nem foglalkozunk.

Environmental-flow – Környezeti vízigény

Az environmental flow definícióját 2007-ben a Brisbane-i Nyilatkozatban az alábbiak szerint fogalmazták meg (*Brisbane Declaration 2007*):

„Az environmental flow (környezeti vízigény) a vízáramlás elvárt mennyiségét, időzítését és vízminőségét jellemzi, amely szükséges az édesvízi és a torkolati ökoszisztémák, valamint az ezekre épülő emberi megélhetés és jólét fenntartásához.”

Fontos leszögezni, hogy az „environmental flow” célja az egészséges és fenntartható ökoszisztémák nyújtotta társadalmi-gazdasági lehetőségek maximalizálása, valamint a sérülékeny vízkészletekkel kapcsolatos kockázatok csökkentése.

A környezeti vízigény fogalmának bevezetése:

Az „environmental flow” magyar megfelelőjére a Brisbane-i Nyilatkozat definíciója alapján a *környezeti vízigény* fogalmának bevezetését javasoljuk, mely tartalmazza az alábbi megfontolásokat:

- A környezeti vízigény az ökoszisztéma és a társadalom vízigényének konszenzusos, alulról építkező módon történő összehangolása a meglévő, (1) jellemző vízkészletekkel (stratégiai döntés) és (2) pillanatnyi vízkészletekkel (operatív döntés).
- A környezeti vízigény magába foglalja a medermorfológia jellemzési lehetőségét, beleértve a parti sávot, az árteret (hullámtér) és a horizontális és longitudinális kapcsolatokat a víztéren belül, illetve a víztől függő szárazföldi ökoszisztémák felé.
- A környezeti vízigény tartalmazza a vízmennyiség (eloszlás, dinamika stb.), a hidrodinamikai jellemzők, a vízminőség, és a vízi élőlény együttesek igényeinek és tűréshatárainak figyelembevételét.

Fontos szóhasználat érhető tetten *Pahl-Wost és társai (2013)* által írt közleményben, miszerint: „A környezeti

vízigények (Environmental Flow Requirements) tehát térben és időben változóak kell, hogy legyenek annak érdekében, hogy fenntartsák a kívánt jövőbeli ökoszisztéma állapotát, amelyről az érdekelt felek megállapodtak, – és ezzel együtt megőrizték az ökoszisztémák által nyújtott szolgáltatásokat is, amelyek az emberek javát szolgálják.”

Összefoglalva, a környezeti vízigény az ökológiai és a társadalmi vízigény kompromisszumkész összehangolásáról szól, mely tevékenység segít fenntartani az egészséges folyóvízi ökoszisztémák működéséhez szükséges alapvető folyamatokat. A környezeti vízigény nem feltétlenül teszi szükségessé a természetes állapot helyreállítását, hanem megenged olyan változtatásokat, amelyek ésszerű keretek között, korszerű, erőforrás takarékos módszerekkel elősegítik az emberi fejlődést, annak érdekében, hogy a folyókból származó értékek és előnyök (összefoglaló néven ökoszisztéma szolgáltatások) a társadalom javára váljanak.

Ez a megközelítés elősegíti, hogy a VKI szerinti természetes, erősen módosított és mesterséges víztestek környezeti vízigényére tudjunk egységes szemléletű módszertant javasolni.

Az ökológiai vízigénnyel kapcsolatos jogszabályi háttér alakulása

Korábban a jogi szabályozás alapját képező módszertan kialakításakor az elsődleges cél a társadalom mederbeli és medren kívüli vízigényének a biztosítása volt, míg az ökológiai szempontok figyelembevétele az adott kor ökológiai ismeretein alapult. Már az 1954-es I. Országos Vízgazdálkodási Kereterv foglalkozott a mederben hagyandó vízhozam meghatározásával, melyet az adott hónapra jellemző minimum vízhozam 75%-ban állapított meg (*Domokos 1999*). Ekkor a nemzetközi gyakorlatban is az elterjedt gondolkodás a minimum flow, mint mederben hagyandó vízkészlet meghatározása volt, mondván, hogy a természetben előforduló minimális vízhozam megőrzése biztosítani tudja a vízi élőhelyek fennmaradását, védelmét. Az ökológiai szempontokat 1962-ben a Vízkészletgazdálkodási évkönyvben továbbra is a mederben hagyandó vízhozam fogalmával vették figyelembe (*Vízkészletgazdálkodási Évkönyv 1962*). Ezt követően az 1964 évi IV. Törvény a Vízügyről a vízhasználatok között még nem említ természetvédelmi, vagy ökológiai célú vízhasználatot. Az 1970-es évek elején a korábbi mederben hagyandó vízhozam fogalmának korszerűsítéseképp először az 1971. évi Vízkészletgazdálkodási évkönyvben szerepelt az élővíz megnevezés (*Vízkészletgazdálkodási Évkönyv 1971*). Számszerűsítésének módja ugyanakkor megegyezett a mederben hagyandó vízhozaméval. E dokumentumokban vízigény szempontjából mértékadó időszaknak a mezőgazdasági vízigények miatt az augusztusi időszakot választották, és a vízigények kielégítésének a valószínűségi (biztonsági) szintjét a 80%-os tartósságú középvízhozammal határozták meg. A vizek védelme érdekében a mederben hagyandó vízkészletet (élővizet) az augusztusi legkisebb vízhozam 75%-ában adták meg.

Az 1995 évi LVII törvény megjelenésével a vízigények újrafogalmazása is megtörtént, de a törvény megtartotta a vízigények kielégítési sorrendjének rögzítését. Ugyanak-

kor a törvényből hiányzik a vízigények között újonnan szerepeltetett természetvédelmi vízigény definíciója. A természetvédelmi vízhasználat (vízigény?) vélhetően a védett területek vízellátását hivatott biztosítani. Bevezeti továbbá az ökológiai vízhasználat fogalmát az alábbiak szerint: „a természeti rendszerek fennmaradásához, megővéséhez szükséges vízmennyiség igénybevétele”.

A természet védelméről szóló 1996. évi LIII. törvény 18§ (1) nem definiált fogalomként bevezette az ökológiai vízmennyiség fogalmát az alábbiak szerint: „A természetes és természetközeli állapotú vizes élőhelyen, a természeti értékek fennmaradásához, a természeti rendszerek megővéséhez, fenntartásához szükséges vízmennyiséget (ökológiai vízmennyiség) mesterséges beavatkozással elvonni nem lehet.” Ezt a „vízmennyiséget a természetvédelmi hatóság állapítja meg.”

Megállapítható, hogy a törvényekben a vízzel kapcsolatos ökológiai fogalmak nem definiáltak, ezért az előírások tartalma nem világos. A természet védelméről szóló törvény vízkészletgazdálkodási szempontból bizonytalan helyzetet teremtett azzal, hogy úgy rendelkezik, hogy az ökológiai vízmennyiséget a természetvédelmi hatóság állapítja meg.

Ezt követően megjelent egy alacsonyabb szintű szabályozás a 30/2008. (XII. 31.) KvVM rendelet, amely visszatér a mederben hagyandó vízhozam fogalmához, de a szabályozás alapjait nem változtatja meg. A rendelet az alábbiakat tartalmazza:

„Felszíni vizek igénybevitelének tervezésekor a vízháztartási mérleg készítésére mértékadó időszak az augusztus hónap. A mértékadó vízhozam statisztikai jellemzője a 80%-os tartósságú középvízhozam. Rendkívüli esetben, amikor a vízigény egyéb hónapban is meghaladja ezen értékeknek a 25%-át, ettől el lehet térni azzal, hogy ebben az esetben a szűkebb mérleget mutató időszak a mértékadó.”

Megjegyzendő, hogy bár a jogszabályban nem szerepel konkrétan, de a gyakorlatban alkalmazott statisztikai jellemző a 80%-os tartósságú napi középvízhozam értéke. A mederben hagyandó vízhozammal (e tanulmányban alkalmazott fogalmak szerint a minimum ökológiai lefolyással) kapcsolatban a rendelet az alábbiakat rögzíti:

„Felszíni vízkivételek, átvezetések tervezésekor a mederben hagyandó vízhozam értéke legalább a mértékadó kisvízi vízhozam kétharmada, amitől részletes ökológiai és hidrológiai vizsgálat alapján el lehet térni. A mértékadó vízhozam számításánál figyelembe kell venni az aktuális hidrológiai alapadatokat, a tározási lehetőségeket és a vízjogi állapotot.”

Érdekes, hogy a VKI bevezetése után készült szabályozás nem tesz különbséget a víztestek között, nem utal arra, hogy hidrológiai okokból lehet egy víztest erősen módosított, illetve a szabályozás nem tér ki a mesterséges víztestekre. A szabályozás pontatlanná vált, mivel a mederben hagyandó érték esetében nem definiálta, hogy mit tekint mértékadó kisvízi hozamnak. A gyakorlatban jellemzően az augusztusi 80%-os tartósságú vízhozamot veszik alapul (Horváth 2024).

A VGT1 keretében bevezetésre került egy új fogalom, az ökológiai kisvíz (VGT1 2010), amelynek módszertanát az ÖKO Zrt. vezette konzorcium készítette el (Szalay 2009). Ebben víztest típusonként határozza meg az ökológiai kisvíz értékét az augusztusi 80% tartósságú vízhozamból, egy, a víztest típushoz tartozó „e” tényező bevezetésével.

$$Q_{\text{öko kisvíz}} = Q_{\text{aug80\%}} * e \quad (1)$$

ahol e: Az ökológiai kisvíz arányosító tényezője, értéke 0,45-0,6 (-) között változik különböző típusú víztestek esetén, a hidrológiai és a hidraulikai jellemzőket figyelembe véve.

Használatának közvetlen jogszabályi alapja nincs, bevezetése a VGT1 tervben megtörtént. Több vízügyi igazgatóság az engedélyezési gyakorlatában ezt használja.

A jelenlegi szabályozás ma már sem ökológiai, sem vízkészlet-gazdálkodási szempontból nem felel meg. Egyfelől statikus értékkel veszi figyelembe az élővíznek, mai szándékkal ökológiai vízigénynek nevezett vízhozam értéket. További problémája, hogy vízháztartási mérleg készítésére mértékadó időszaknak az augusztust jelöli meg, ezzel a bővízü időszakok vízkészletei vízkészlet-gazdálkodási szempontból fel nem használt készletként jelentkeznek. Ugyanakkor abban az esetben, ha az augusztustól eltérő hónapra elkészített havi vízmérleg alapján, de az augusztusi mértékadó kisvízből levezetett minimum ökológiai lefolyás figyelembevételével határozzák meg az adott hónap hasznosítható készletét, akkor az ökoszisztéma védelme sérülhet.

Az alábbiakban tehát a cél egy új módszertan alkalmazására történő javaslat. Ehhez első lépésben megvizsgáljuk a környezeti vízigény meghatározásának lehetséges módszereit.

A KÖRNYEZETI VÍZIGÉNY MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZEREI

A környezeti vízigény definíciója alapján a meghatározásnak minden esetben tartalmaznia kell az ökológiai vízigények (az ökoszisztéma élőlényegyütteseinek fenntartásához szükséges) és a társadalmi vízigények kielégítésére fordítható vízkészlet (hasznosítható vízkészlet) meghatározását.

Elsődlegesen az ökológiai vízigény meghatározására vonatkozóan az alábbi fő módszereket tárgyaljuk lényegük, komplexitásuk, adatigényük, alkalmazási területük, megbízhatóságuk és szakemberigényük szerint. Az elemzés alapja Horne és társai (2017) munkája.

Hidrológiai módszerek

A hidrológiai alapú módszerek még mindig a legelterjedtebb megközelítések nemzetközi szinten (Benetti és társai 2004, Rodríguez-Gallego és társai 2012, Speed és társai 2012, Linnansaari és társai 2013, EC 2015), melynek oka a (mért vagy szimulált) vízhozam idősorok helyi elérhetősége, a hidrológiai adatok alacsony költsége és egyszerű használata, valamint a tereplátogatás és adatgyűjtés korlátozott igénye miatt.

A hidrológiai módszerek előnye, hogy adatigényük kielégítése egyszerű, alkalmazásuk többnyire meglevő adat-sorokon alapul, olcsók és kevés az eszközigényük. A mód-

szerek általában a kisvízi értékek meghatározására fókuszálnak, gyakran éves léptékben, ritkában szezonális és havi értékek meghatározásával.

Hidraulikai módszerek

A hidraulikai módszerek azt vizsgálják, hogy a vizes élőhely morfológiai állapota egy-egy kiemelt faj vagy élőlény együttes környezeti igényeinek megfelelő-e. Ehhez a módszerhez a szükséges adatigény kevés vagy mérsékelt. Számítógépes adatelemzést, vagy minimális terepi munkát igényel. Az elemzéshez történeti adatokat is felhasznál. A vízjárást hidraulikus változókhoz köti, jellemzően tipikus keresztmetszvényekhez kötődően. Egyetlen, vagy néhány hidraulikus változót használ (mederkeresztmetszet, nedvesített terület, vízmélység stb.), de modellezést, mint módszert is alkalmazhat. Közepes gyakorlatot igényel több szakembertől, akik egységes munkacapatot alkotnak (hidrológus, hidraulikus élőhelyhez értő szakember, modellező). Esetenként ökológiai és morfológiai ismeretek is szükségesek. Ehhez a módszerhez mérsékelt költség, időigény és technikai kapacitás szükséges. A módszer eredményessége, komplexitása, felbontása, rugalmassága és megbízhatósága kicsi, vagy mérsékelt (Horne és társai 2017).

Élőhely szimulációs módszerek

Az 1990-es évek elejére a hidraulikus élőhely megközelítések a tisztán hidraulikus változók meghatározásától a folyórendszer összetettebb ábrázolásáig terjedtek. Sok program foglalkozott egy vagy néhány faj hidraulikus élőhelyeinél tágabb kérdésekkel, egyre inkább a közösségek és az ökoszisztémák fenntarthatósága került fókuszba a teljes folyón belül (Merritt és társai 2010, Merenlender és Matella 2013). E módszerek a vízi élőlények szezonális ártéri és parti élőhelyekhez való hozzáférését, valamint a parti zónában élő fajok számára a nagy vízhozamok és az árvizek szükségességét vizsgálják a folyók geomorfológiai dinamikájának fenntartásához (Grabowski és Gurnell 2016). Jellemzőjük, hogy elsősorban célfajok, guildék (hasonló forrásokat használó fajok csoportja), vagy élőlény együttesek vizsgálata esetében alkalmazzák.

A módszer figyelembe veszi a mederformát, üledéktranszportot, vízminőséget, parti vegetációt, rekreációt és esztétikai szempontokat. A módszer adatigénye közepes vagy nagy, adatelemzésre és terepi felmérésekre van szükség hozzá. Történeti adatokat használ, jellemzően napi átlagos vízhozamokat. A modellezett hidraulikus változók száma tág határok között változhat, melyeket különböző vízhozam tartományokban és folyó keresztmetszvényekben vizsgálnak. A modellezés során a célélőlények élőhelyeinek fizikai meglétét és azok térbeli, időbeli kiterjedését elemzik. E módszerek magas szintű hidrológiai, élőhelymodellező és hidraulikai szaktudást igényelnek. Az eszköztárban magas szintű hidrodinamikai modellezés, GIS, távérzékelés, ökológiai és morfológiai gyakorlat is szerepel. A módszerhez közepes vagy magas szintű időigény, költségek és technikai kapacitás tartozik. A módszer felbontása és megbízhatósága közepes, vagy nagy, rugalmassága közepes. Közepes, vagy nagy stratégiai jelentőségű folyóknál előnyös.

Gyakran ezt a módszert a holisztikus megközelítésben és annak keretében használják. Alkalmazása hasznos különböző vízgazdálkodási szcenáriók elemzéséhez különböző fajok, vagy életközösségek esetében (Horne és társai 2017).

Holisztikus módszerek

Az egész vízi ökoszisztémát, vagy annak különböző összetevőit vizsgálja a holisztikus módszer. A folyóvizet és környezetét is nézi, pl. vizes élőhelyeket, ártereket, del-tákat, folyótorkolatokat, lagúnákat, partmenti vizeket. Sokféle szempontot vesz figyelembe egyszerre, pl. medermorfológiát, üledék (hordalék) mozgást, az ökológiai funkciók és folyamatok egységét, tápanyag dinamikát, a táplálékhálózat szerkezetét.

A leggyakrabban használt holisztikus módszertan az építőelem-módszertan (*Building Block Strategy, BBS, King és társai 2008*) és az előírt hidrológiai transzformációra adott alvízi válasz (King és társai 2003). Arthington és Zalucki (1998) és Tharme (2003) alapos áttekintést adott a különféle holisztikus módszertanokról. Ezen kívül az Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA) keretrendszer úgy fejlesztették ki, hogy megfeleljen az e-flow regionális, tartományi vagy medence-léptékű kezelésének igényeinek (Poff és társai 2010). Az ELOHA egy „felülről lefelé irányuló” módszer, amely a környezeti víz-igényeket a természetes hidrológiai rendszerhez képest elfogadható változási szintekkel határozza meg, beleértve a stressz-válasz ökológiai összefüggések számszerűsítését.

A holisztikus módszereket gyakran akkor használják, ha szegényes az adatellátottság. A módszer közepes vagy nagy felkészültséget terepi komplex csapatmunkát igényel. Figyelembe veszik a meglévő adatbázist, de főként terepi munkára koncentrálnak. Különböző szaktudású szakértőkkel vizsgálják a folyót, vagy annak egy víztestét több keresztmetszvényben. Általában a vízhozam – ökológia összefüggését vizsgálják az adott fajok, vagy fajegyüttesek életciklusának figyelembevételével (pl. halvándorlás, szaporodóhelyek épsége, vízminőségi tűrőképesség, különleges fajok követelményei stb.).

Ez a módszer közepes, vagy nagy idő és költségigényű. A hidrológiától egészen a gazdasági és szociális kérdésekig sok területet vizsgál, különös tekintettel a száraz és a nedves évekre. A módszer komplexitása és megbízhatósága közepes, vagy nagy. E módszer esetében hasznos a hidrológiai rezsimit összekapcsolni mennyiségi és/vagy minőségi ökológiai és morfológiai, néha társadalmi és gazdasági következményekkel. Ebben az esetben a száraz és a nedves évek vízgazdálkodásának elválasztott vizsgálata fontos lehet. A módszer megbízhatósága és összetettsége közepes, vagy nagy, jellemzően nagy felbontású és rugalmasságú (Horne és társai 2017).

A felsoroltak közül a hidrológiai módszer alkalmas mind az ökológiai vízigények mind a társadalmi vízigények számára rendelkezésre álló vízkészletek jellemzőinek leírására. A további módszerekkel pontosítható az ökológiai vízigények meghatározása. A holisztikus módszer emellett az ökológiai és társadalmi vízigények sokszempontú összehangolására is alkalmas. Ennek megfelelően a tanulmányban javasolt módszertan első körben egy

standardizálható hidrológiai módszertant javasol a környezeti vízigény meghatározására, majd ezt követően, szükség esetén holisztikus módszerek alkalmazását javasolja az ökológiai és társadalmi vízigények kompromisszumkész összehangolására.

Jelen tanulmányban igyekszünk egy olyan módszertant javasolni a környezeti vízigény meghatározására, amely a VGT4 keretében standardizálhatóan alkalmazható. Ehhez szükség van a vízfolyások csoportosítására, hogy a módszertan az azonos csoportba tartozó vízfolyások esetében egységes módon határozza meg a környezeti vízigényeket, illetve azon belül a minimum ökológiai lefolyás értékét. Ennek érdekében az alábbiakban áttekintjük a VGT3-ban meghatározott magyarországi vízfolyás víztest típusokat.

VÍZFOLYÁSOK TIPIZÁLÁSA

A VGT-ben alkalmazott, ökológiai változásokat leíró, referencia-alapú tipológia kidolgozása a VKI előírásai szerint két irányból történhet. A „B” rendszer szerinti tipológiai rendszer az abiotikus változók alapján készült, majd ezeket a biológiai adatokkal a referenciafeltételek vizsgálatára használták. Ezt a módszert nevezzük „top down” megközelítésnek. A másik irány az („A” rendszer), amikor a biológiai adatok elemzésével a referencia-kritériumok

oldaláról adjuk meg azokat a típusokat, amelyek az adatok alapján elkülöníthetők és jellemezzük őket a „B” rendszer szerinti abiotikus kötelező és szabadon választható tipológiai tényezőkkel. Ez a „bottom up” megközelítés. A VKI és az idevonatkozó útmutatók szemlélete szerint bármelyik megközelítést alkalmazza a tagország, mind az abiotikus mind a biotikus (referencia-alapú) irányból szükséges igazolnia tipológiai rendszerét. Magyarország a „top down” megközelítést alkalmazta a tipológiai rendszer kidolgozásánál. A tipológia biológiai igazolása során a VKI szerinti élőlénycsoportok (fitoplankton kivételével a vízi növényzet (makrofíton és fitobenton) valamint a makrogerinctelen és a halak) adatait elemezve klaszterelemzéssel típuscsoportok különülnek el, amelyek eltérő referencia-viszonyokat és élőlényközösségeket feltételeznek. Az abiotikus tényezők alapján felállított hidromorfológiai típusok validálása az élőlények mennyiségi (biomassza, egyedszám borítás mértéke stb.) és minőségi jellemzői (fajösszetétel, funkcionális csoportok aránya, faj/funkcionális diverzitás mértéke stb.) alapján történt.

A tipológiai paraméterek közül a VKI élőlénycsoportjai szempontjából a vízgyűjtőméret (S, M, L, XL, és Duna méretű) (1. táblázat), a mederesés (nagy, közepes, kis) és a mederanyag (durva, durva-közepes finom, közepes-finom) voltak a típusok legfontosabb elkülönítő tényezői.

1. táblázat. Vízgyűjtők mérete szerinti típusok (VGT3 2022)
Table 1. Types of water catchments by size (VGT3 2022)

Vízgyűjtő mérete	
Duna méretű	> 100 000 km ² (XXL)
nagyon nagy	10 000-100 000 km ² (XL)
nagy	1 000-10 000 km ² (L)
közepes	100-1 000 km ² (M)
kicsi	10-100 km ² (M)

A tengerszint feletti magasság helyett meghatározóbb tényező volt a vízfolyások mederesése. A domborzati viszonyok következtében előfordulhat, hogy egy vízfolyás ugyan magassága alapján dombvidéki kategóriába esik, azonban a csekély mederesés síkvidéki jellegűvé teszi, amit az élővilág összetétele is tükröz. A nagy, közepes esésű vízfolyások mellett a korábbi tipológiában szereplő „nagyon kis esésű” kategória megkülönböztető voltát a biológiai validáció nem igazolta vissza, ezért ez ki lett véve a tipológiai rendszerből. A finom mederanyag szintén nem különült el a közepesen finom szemcseméret-mederanyagú vízfolyásoktól, így ez a két tipológiai jellemző összevonásra került. A biológiai validáció során kiderült tehát, hogy a 2S és 2M, a 3S és 3M, az 5S és 5M, a 6S és 6M, valamint a közepes és kis esésű két dunai típus nem különül el biológiailag egymástól. A 15 vízfolyástípusból 10-re redukálódott víztípusokat biotípusoknak is nevezhetjük (2. táblázat).

Erősen módosított és mesterséges víztestek

A VKI sajátos fogalma az „erősen módosított víztest”, ami egy olyan természetes felszíni víztestet jelent,

amely társadalmi, vagy gazdasági igények kielégítése céljára, emberi tevékenységből származó fizikai változások eredményeként jellegében lényegesen megváltozott. Az erősen módosított kategóriába sorolt víztestek természetes eredetűek, azonban hidrológiájuk és/vagy morfológiájuk emberi beavatkozások, létesítmények hatására jelenleg jelentősen eltérnek saját természetes állapotuktól. Az ember által okozott változás olyan mértékű (és e módosítás az emberi igények miatt továbbra is fenntartandó), hogy emiatt a jó ökológiai állapot nem érhető el (VGT3 2022). Ez a megfogalmazás egyben azt is jelenti, hogy egy víztestet biológiai hatások, vagy kémiai szennyezések miatt nem lehet erősen módosítottá nyilvánítani.

A VKI által használt másik fontos felszíni vizes kategória a „mesterséges víztest”, amely emberi tevékenység eredményeként, kifejezetten valamilyen cél elérése érdekében létrehozott felszíni víztestet jelent. Ebbe a kategóriába azokat a víztesteket soroljuk, ahol az összefüggő vízfelület létrehozása előtt részben vagy teljes egészében szárazulat volt.

2. táblázat. A vízfolyások biológiai adatokkal igazolt típusai (VGT3 2022)

Table 2. Types of watercourses confirmed by biological data (VGT3 2022)

Biológiai adatokkal validált típus	Méret	Jellemző		Esés	Mederanyag		Kategória
1	S	1S	kicsi	nagy esésű	durva	szilikátos	dombvidéki- hegyvidéki
2	S	2S	kicsi	nagy esésű	durva	meszes	dombvidéki- hegyvidéki
	M	2M	közepes	nagy esésű	durva	meszes	dombvidéki- hegyvidéki
3	S	3S	kicsi	közepes esésű	durva - kö- zepes-fi- nom	meszes	dombvidéki
	M	3M	közepes	közepes esésű	durva - kö- zepes-fi- nom	meszes	dombvidéki
4	L	4L	nagyon nagy/ nagy	közepes esésű	durva	meszes	dombvidéki
5	S	5S	kicsi	kis esésű	durva	meszes	síkvidéki
	M	5M	közepes	kis esésű	durva	meszes	síkvidéki
6	S	6S	kicsi	kis esésű	közepes-fi- nom	meszes	síkvidéki
	M	6M	közepes	kis esésű	közepes-fi- nom	meszes	síkvidéki
7	L	7L	nagy	kis esésű	közepes-fi- nom	meszes	síkvidéki
8	XL	8N	nagyon nagy	kis esésű	közepes-fi- nom	meszes	síkvidéki
9	F	9F	Duna méretű	közepes esésű	durva	meszes	síkvidéki
	K	9K	Duna méretű	kis esésű	durva	meszes	síkvidéki
10	A	10A	Duna méretű	kis esésű	közepes-fi- nom	meszes	síkvidéki

Az erősen módosított és mesterséges víztesteknél a maximális vagy jó ökopotenciál, mint célállapot meghatározásánál irányadó lehet az adott erősen módosított víztesthez leginkább hasonlító természetes víztípus jó állapota. Ugyanakkor ezeknél a víztesteknél a funkció fenntartása az elsődleges szempont (pl. belvíz csatornánál a vízelvezető képesség fenntartása, halastónál a haltenyésztéshez szükséges körülmények fenntartása), ezért a környezeti célkitűzés meghatározható a használatától függően is, de törekedni kell a környezeti szempontból „jó gyakorlat” elérésére (VGT3 2022).

Az erősen módosított és mesterséges víztestek esetében külön minősítő rendszert kell készíteni, mely eltérő feltételeket tartalmazhat a módosítás következményeként, mint az a természetes állapotból következne. Megmaradhatnak azok a változások, amelyek a fenntartott állapotból következnek, de a hatásukat mérséklő intézkedéseket meg kell hozni. Ekkor közelít a víztest potenciálja a maximális ökológiai potenciál (EC 2003) felé.

Magyarországon eddig nem készült külön minősítés az erősen módosított és a mesterséges víztestekre. Tipizálásuk is annyira valósult meg, hogy meg kell keresni az erősen módosított és a mesterséges vízfolyáshoz legjobban hasonlító természetes típust, és azt figyelembe véve kell levezetni a potenciálját. A minősítésük a VGT2-ben – a

VKI normaszövegével ellentétben – úgy valósult meg hibásan, hogy az ökológiai potenciált egy osztállyal alacsonyabbnak vették az ökológiai állapotnál (VGT2 2016). Ez túl leegyszerűsített elképzelés volt. A VGT3-ban az ökológiai potenciált az azonos típushoz tartozó ökológiai állapotból vezették le, statisztikailag figyelembe véve az erősen módosítottság okát. Mindkét esetben az erősen módosítottságból adódó „állapot” könnyítési lehetőségét nem használták ki eléggé. Részben ebből adódik, hogy európai összevetésben kiugró számú, jó állapotot/potenciált el nem érő víztestünk van. Ezen változtatni kellene, például úgy, hogy az ökológiai potenciált egyedileg, víztest szinten kellene megállapítani.

Környezeti vízigény és a tipológia kapcsolata

A nemzetközi szakirodalomban a környezeti vízigény meghatározásakor a tipológia, mint kategória, nem szerepel. Az ökoszisztéma vízigényének meghatározásakor lokális ökológiai szempontok, mint az egyes adott vízfolyás specifikumai jelennek meg, és ezért is legtöbb esetben a környezeti vízigény meghatározására a holisztikus módszert javasolják, ha erre kellő idő, és pénz áll rendelkezésre. A standardizálható módszertanok alapvetően a hidrológiai, hidraulikai sajátosságokat használják. Ennek az alapvető oka, hogy a víz, mint áramlási rendszer a fő hajtó erő, a fizikai környezet (élettelen természet) mellett. Az

ökoszisztémában kölcsönhatás rendszer működik az élettelen környezet és a bióta között, sőt, a kölcsönhatások a biótán belül is működnek. Alapjában véve azonban a vízjárás és a vízfolyás morfológiai jellemzői (sok más élettelen tényező mellett) jelentősen kihatnak az élőlény együttesek jellemzőire. A hidrológiai módszerek a természetes hidrológiai rezsim értékelésén alapulnak, mivel ez a vízi ökoszisztémák szerkezetének és működésének kulcsfontosságú változójaként jelenik meg. Ez a változó egyben az adott vízgyűjtő-részvízgyűjtő integrált válasza a csapadékosagra (nem tekintve az emberi beavatkozásokat).

Az ökoszisztémák védelme ezért elsősorban a vízjárás biztosításán és a medermorfológia kialakításán keresztül lehetséges. Anyagunkban most elsősorban a vízjárás biztosítására fókuszálunk, mivel a morfológiai terhelések hatáscsökkentését elsősorban morfológiai beavatkozásokkal lehet ellensúlyozni. Ezt azért is fontos hangsúlyozni, mivel egy víztér egy időben számos különböző élőhelyek egymásba kapcsolódó láncolatának ad helyet, amely az adott víztér lokális morfológiai jellemzőjéhez kötődik. Egy adott vízfolyás-víztest szakaszára érkező vízhozam a mederalakulaton belül is a morfológia által meghatározott élőhely típusokat fogja vízzel ellátni. Nyilván vannak olyan szélsőséges hidrológiai események, amelyek a meder gyors változását is okozhatják, de az már a vízstressz kategóriába tartozik az adott lokális ökoszisztéma szempontjából. A környezeti vízigény meghatározása keretében ugyanakkor nem foglalkozunk a morfológiai terhelések hatásainak a csökkentésével. Ezt a vízgyűjtő-gazdálkodási tervek intézkedési javaslatai között kell megtenni.

A környezeti vízigény meghatározásakor egyes tanulmányok azért nem foglalkoznak a vízfolyások tipológiájával, mert a fő céljuk az ökoszisztéma-funkciók fenntartása, és ezt sok esetben általános hidrológiai és/vagy ökológiai modellek alapján határozzák meg, függetlenül a vízfolyás típusától. A tipológiára elsősorban a víztestek közötti hasonlóság kihasználására, csoportosításra, a típusok szerinti referencijellemzők becslésére, valamint a típustól függő minősítési rendszerek kidolgozására van szükség. A tipológia segíthet az intézkedések tervezésében és gazdasági elemzések segítségével is. A tipológia továbbá inkább a víztestek osztályozásában, összehasonlíthatóságában és állapotértékelésében, és ezek országok közötti interkalibrációjában játszik szerepet, míg a környezeti vízigény meghatározása gyakran közvetlen hidromorfológiai és ökológiai tényezőkön alapul.

Fenti szempontok alapján a javasolt módszertanban a vízfolyások vízgyűjtőterületének VGT3-ban meghatározott méretét vettük alapul, mint tipológiai változót a minimum ökológiai lefolyás meghatározásánál. E megfontolás azon alapult, hogy a vízgyűjtő mérettel összefüggésben nő a kisvízes időszakban rendelkezésre álló víztér kiterjedése, mely a vízi ökoszisztéma számára rendelkezésre áll és ezen időszakok átvészelését lehetővé teszi. Ezért indokoltnak láttuk a kisebb (S,M) a közepes (L) és a nagy (XL, XXL) vízgyűjtővel rendelkező vízfolyások típus szerinti megkülönböztetését, amint azt a következők fejezetben bemutatjuk.

JAVASOLT MÓDSZERTAN

A Víz Keretirányelv (*WFD 2000*) is kiemeli a vízmennyiség és a hidrológiai változékonyság meghatározó szerepét a vízi ökoszisztémák állapotának fenntartásában, valamint a környezeti célkitűzések elérésében (*EU 2015*). Jelen esetben a hangsúly a vízjárás dinamikájára helyeződik, hiszen a vízháztartás dinamikus jellegének biztosítása nem valósítható meg a korábbi gyakorlat szerinti egyetlen, éven belül állandó minimum ökológiai lefolyás (más néven mederben hagyandó vízkészlet, vagy ökológiai kisvíz) alkalmazásával. A kívánt hidrológiai dinamika elérését és fenntartását a természetes vízjárás mintázataihoz kell igazítani, amely a valós, éven belüli hidrológiai ciklust tükrözi.

A módszertan szempontjából fontos továbbá, hogy – a környezeti vízigény definíciója alapján – a meghatározásnak minden esetben tartalmaznia kell az ökológiai vízigények (az ökoszisztéma élőlényegyütteseinek fenntartásához szükséges) és a társadalmi vízigények kielégítésére fordítható vízkészlet (hasznosítható vízkészlet) meghatározását.

Fentiek figyelembevételével, e tanulmányban az adaptív menedzsment (*Richter és társai 2006*) módszert követve:

1. Első lépésként egy standardizálható hidrológiai módszertant javasolunk, amely a minimum ökológiai lefolyás és a hasznosítható vízkészletek maximumának, havi bontásban történő meghatározását célozza. Ebből adódik, hogy az ökológiai vízigény az adott hónap minimum ökológiai lefolyásának (statikus rész) és az adott hónap maximum hasznosítható készlete felett ténylegesen érkező, folyamatosan változó vízhozamnak (dinamikus rész) az összege lesz.

2. A módszertan lényeges eleme, hogy indokolt esetben a hidromorfológiai viszonyok és hidraulikai, illetve vízminőségi jellemzők figyelembevételével és szakértői csapat bevonása mellett holisztikus módszertan segítségével pontosítandó az ökológiai vízigény meghatározása. Ilyen indokolt esetnek számíthat például:

- védett vagy fokozottan védett természetvédelmi területek érintettsége esetén, illetve
- olyan vízgyűjtőkön, ahol a jelen, vagy jövőben várható vízhasznosítás jelentős és/vagy
- a vízhasználók között a vízkészletek felhasználásáért kialakult konfliktus esetén, továbbá
 - adathiányos vízgyűjtőkön, valamint
 - S és M méretkategóriákba tartozó vízfolyásokon, ahol a tisztított szennyvízbevezetések az alaphozammal nagyságrendben megegyeznek.

3. Ezen információk birtokában a hidrológiai módszertan során meghatározott környezeti vízigény (azaz az ökológiai és társadalmi vízigények közötti egyensúly) a társadalmi szereplők által kötött kompromisszum alapján pontosítható.

Ez a megközelítés az időszakos, illetve időszakossá váló vízfolyások esetén is megoldást jelent a környezeti vízigény meghatározására, hiszen a havi bontásban kiértékelte vízjárási jellemzők, illetve a vízgyűjtő-gazdálkodási

tervekben 6 évenként frissülő adatbázis alkalmazása leköveti a vízfolyások időszakosságának változásait. A korábbi – éves átlagos lefolyásból, illetve más, éves vízjárási jellemzőkből levezetett – módszerek nem alkalmasak a vízkészletek éven belüli változékonyságának, valamint a klimatikus viszonyokban bekövetkezett változások bemutatására, illetve az ökológiai és a társadalmi vízigények éveszakos, illetve havi eltéréseinek lekövetésére. Ez fontos, mert az ökológiai vízigény biztosításának a célja az ismert ökoszisztémák védelme, mely során a változó vízkészleteket, vízigényeket és a klímaváltozás igazolt hatásait is figyelembe kell venni, szem előtt tartva, hogy a klímaváltozás a szélsőségek megjelenése mellett az éven belüli változékonyság módosulásával is járhat. Mivel az ökoszisztémák éves ciklusai a helyi klimatikus viszonyokhoz igazodnak, ezért, a közelmúlt (mindig az aktuálisan elmúlt 30 év) havi vízjárási jellemzőinek változása mutatja a jelenleg ismert ökoszisztémák működtetését befolyásoló jellemző víz-

dinamikát. Ezen hatások figyelembevételéhez az adatbázis folyamatos frissítése szükséges, amelyhez a VKI által előírt 6 évenkénti állapotértékelés biztosítja a megfelelő kereteket.

A módszer tehát az ökológiai szempontok és a társadalmi szempontok egyenjogú összehangolására törekszik, és egyben a fenntarthatóság elvei mellett a vízkészletek hatékony felhasználását célozza.

A korábbiakban indokolt okokból, a hidrológiai alapú megközelítés során a vízgyűjtők méret szerinti tipizálását (1. táblázat) alkalmaztuk kiindulási alapként. A hidrológiai módszertanban megjelenő mennyiségek definícióját és számításának módját a 3. táblázatban foglaltuk össze. E jellemző vízhozam, illetve vízhozam-tartósság értékek a hazai vízkészletgazdálkodási szakma által ismert, illetve részben a napi gyakorlat során használt értékek, melyek a vízhasználatokra vonatkozóan a vízszolgáltatás elvárt biztonsági szintjét is megadják.

3. táblázat. A hidrológiai módszer során alkalmazott mennyiségek definíciója és számításának módja:

Table 3. Definition and calculation method of the variables used in the hydrological method

Havi jellemzők		
Megnevezés	jelölés	mértékegység
80%-os tartósságú havi vízhozam	$Q_{\text{észlelt } 80\%}$ (röviden: $Q_{80\%}$)	m^3/s
<i>definíció</i>	az aktuálisan elmúlt 30 év vízhozam-idősorából, az év egyes hónapjaira megállapított 80%-os tartósságú napi középvízhozam. Az adott hónapban átlagosan 6 olyan nap van, amikor ennél kisebb a vízhozam. A hasznosítható vízkészletet hagyományosan a havi 80%-os tartósságú vízhozamból határozzák meg.	
50%-os tartósságú havi vízhozam	$Q_{\text{észlelt } 50\%}$ (röviden: $Q_{50\%}$)	m^3/s
<i>definíció</i>	az aktuálisan elmúlt 30 év vízhozam-idősorából, az év egyes hónapjaira megállapított 50%-os tartósságú napi középvízhozam. A 30 év alatt az adott hónap napjainak felében ennél nagyobb, másik felében ennél kisebb volt az észlelt napi középvízhozam.	
minimum ökológiai lefolyás	$Q_{\text{öko-min}}$	m^3/s
<i>definíció</i>	adott hónapra vonatkozó minimum ökológiai lefolyás: a 4. táblázat adatai alapján számított vízhozamérték, melyet a vízhasználatok nem sérthetnek. Amennyiben az észlelt tényleges vízhozam alulmúlja a 80%-os tartósságú vízhozamot a vízkivételek korlátozására lehet szükség a minimális ökológiai lefolyás védelme érdekében.	
<i>számítási mód</i>	az adott hónap mértékadó kisvízi vízhozamának 2/3-a. A mértékadó kisvízi hozam a vízgyűjtőmérettől függően és a vegetációs időszakokra való tekintettel változó érték, melynek tartománya a 90%-os tartósságú hozam és az adott hónapban valaha mért legkisebb vízhozam (LKQ) között terjed a 4. táblázatban részletezett módon.	
maximum hasznosítható vízkészlet	$Q_{\text{haszn-max}}$	m^3/s
<i>definíció</i>	adott hónapra vonatkozó maximum hasznosítható vízkészlet: a 80%-os tartósságú vízhozam és a minimum ökológiai lefolyás különbsége A hasznosítható vízkészlet akkor vehető igénybe teljes egészében, ha az észlelt tényleges vízhozam meghaladja a 80%-os tartósságú vízhozamot. Egyéb esetben a vízhasználat korlátozásra kerül.	
<i>számítási mód</i>	$Q_{\text{haszn-max}} = Q_{\text{észlelt } 80\%} - Q_{\text{öko-min}}$	
mederben maradó 50%-os tartósságú havi vízhozam	$Q_{\text{meder } 50\%}$	m^3/s
<i>definíció</i>	az adott hónapban 50%-os valószínűséggel a mederben maradó vízmennyiség: az 50%-os tartósságú vízhozam és a maximum hasznosítható vízkészlet különbsége: Egy átlagos vízjárású évben és a vízkészletek maximálisan megengedett mértékű – vízkivétellel járó – felhasználása mellett ezen érték körül mozog a tényleges mederbeli lefolyás, azaz az ökoszisztéma számára rendelkezésre álló vízmennyiség.	
<i>számítási mód</i>	$Q_{\text{meder } 50\%} = Q_{\text{észlelt } 50\%} - Q_{\text{haszn-max}} = Q_{\text{észlelt } 50\%} - (Q_{\text{észlelt } 80\%} - Q_{\text{öko-min}})$	

Napi jellemzők		
Megnevezés	jelölés	mértékegység
<i>észlelt napi közép-vízhozam</i>	$Q_{\text{észlelt}}$	$[m^3/s]$
<i>definíció</i>	a vízfolyás adott szelvényében, adott napon mért középvízhozam értéke. Amennyiben a vízfolyás vizsgált szelvényétől felvízi irányban nincsen társadalmi vízhasználat (vízkivétel, vízbevezetés, tározás, stb.), akkor ezt a vízhozam értéket tekinthetjük a vízgyűjtőről érkező természetes lefolyásnak.	
<i>mederben maradó napi középvízhozam</i>	$Q_{\text{mederben maradó}}$	$[m^3/s]:$
<i>definíció</i>	Egy vízfolyás adott szelvényében, adott napon és a hasznosítható vízkészlet adott hónapra vonatkozó maximális értékének igénybevétele esetén a vízfolyás medrében maradó – a tényleges ökológiai lefolyást jellemző – vízhozam	
<i>számítási mód</i>	$Q_{\text{mederben maradó}} = Q_{\text{észlelt}} - Q_{\text{haszn-max}}$	

Ökológiai vízigény

A javasolt módszer jellegzetessége, hogy a minimum ökológiai lefolyás mellett a hasznosítható vízkészletek maximumát is rögzíti. Így a pillanatnyi ökológiai vízigény gyakorlatilag két részből áll: egy statikus (az adott hónapra jellemző, a minimum ökológiai lefolyás havi értékével megegyező), valamint egy dinamikus (a pillanatnyi vízhozamnak az adott hónap $Q_{80\%}$ -a feletti többlet hozamával megegyező) részből.

A hasznosítható vízkészletek maximálása miatt beszélünk „mederben maradó” vízhozamról, és nem „mederben hagyandó” vízhozamról. A korábban alkalmazott, „mederben hagyandó vízhozam” ugyanis csak az ökológiai vízigény statikus részét veszi figyelembe és az azt meghaladó vízmennyiséget hasznosíthatóként kezeli.

Javaslatunk szerint az operatív vízgazdálkodás számára az ökológiai vízigény az adott hónap minimum ökológiai lefolyásának és az adott hónap 80%-os tartósságú vízhozam-értéke felett ténylegesen érkező, folyamatosan változó vízhozamnak az összege lesz. Ennek nagyságát – maximális vízhasználat esetén – a $Q_{\text{mederben maradó}}$ vízhozam adja meg.

A javasolt módszer szerint az ökoszisztéma számára rendelkezésre álló vízmennyiség 50%-os valószínűséggel, azaz sokéves időszakra jellemzően a havi bontásban meghatározott $Q_{\text{meder } 50\%}$ -kal jellemezhető. A vízfolyáshoz kötődő és fenntartandó ökoszisztéma tényleges vízigényét (amennyiben ez a későbbiekben az adott víztestre vonatkozóan fajspecifikusan vagy a teljes ökoszisztémára vonatkozóan meghatározásra kerül) ezzel a hónapról hónapra változó értékkel lehet összehasonlítani. Emellett érdemes a különböző vízjárású évek esetén meghatározható $Q_{\text{mederben maradó}}$ vízhozam-idősor értékeivel történő összevetés is.

Minimum ökológiai lefolyás

A minimum ökológiai lefolyás értékének értelmezésekor – az előző bekezdésekben említettek szerint – fontos

szem előtt tartani, hogy az nem egyenlő az ökológiai vízigénnyel, tehát nem azt a mennyiséget adja meg, amely a hasznosítható vízkészlet teljeskörű felhasználása esetén hosszútávon akár hónapokon vagy éveken keresztül előáll a mederben. Ehelyett ez az érték az ökológiai vízigény statikus részét adja, amely azt mutatja meg, hogy kisvízes (csapadékszegény), vagy szélsőségesen kisvízes (aszályos) időszakban mennyi az a lefolyás, amely megőrzendő a vízfolyás medrében. Ez a vízhozam érték kis valószínűséggel ugyan, de természetes esetben is előfordul. A társadalmi vízigények kielégítése a minimum ökológiai lefolyás megőrzése érdekében korlátozásra kerül, amint az észlelt tényleges vízhozam a $Q_{80\%}$ alá csökken.

A minimum ökológiai lefolyást havi bontásban kell meghatározni, figyelembe véve, hogy az élővilágnak van a klimatikus viszonyokon alapuló éven belüli életciklusa. Általánosságban elmondható, hogy a vízi ökoszisztémának a vegetációs időszakban nagyobb szüksége van a vízre, míg azon kívül jobban tűri a vízhiányt. A vízgyűjtő méretének, ezen belül tulajdonképpen a meder méretének figyelembevétele is fontos, mivel kisvízi állapotban a vízszahúzódo víztér lesz a vízhez kötődő élőlények számára a túlélést biztosító léttér. Ezutóbbi szempont elsősorban a kisebb mederméreteket, tehát a kisebb vízgyűjtők esetében lesz meghatározó.

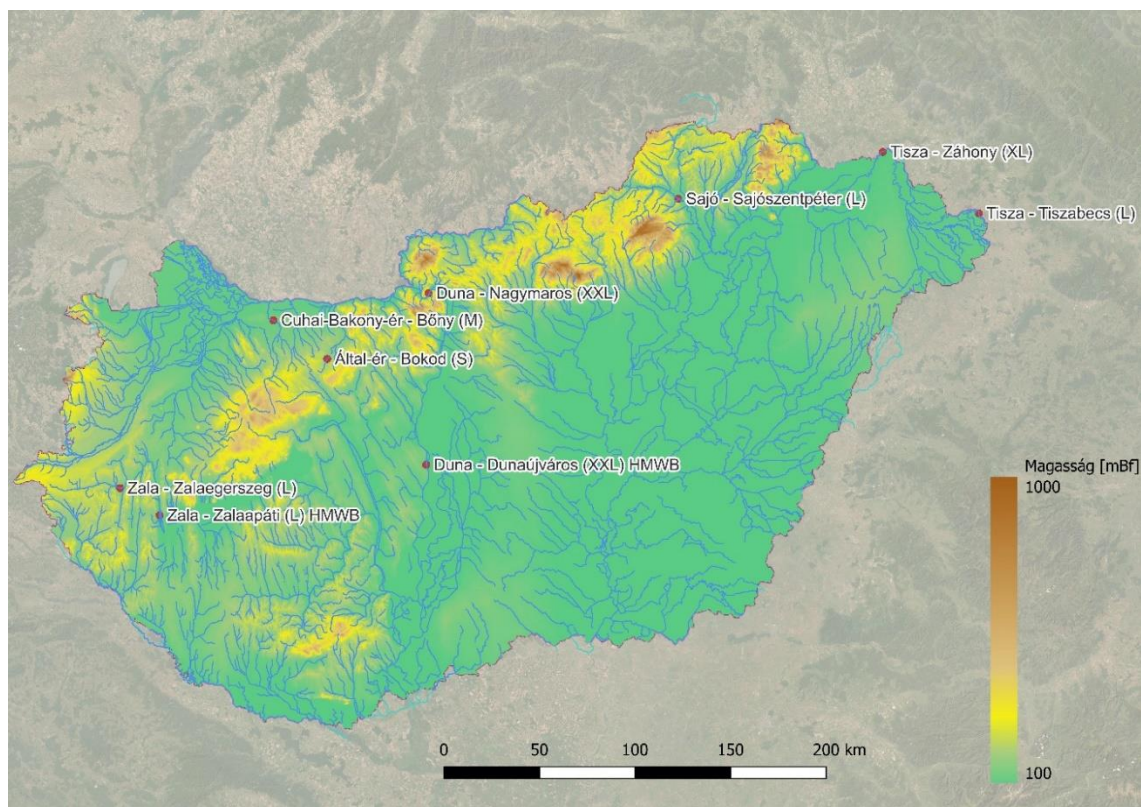
Fentiek alapján, javaslatunk szerint a minimum ökológiai lefolyás értéke az XXL, és az XL méretű vízgyűjtők esetén, éven belül egységesen az adott hónap legkisebb természetes vízhozamának (mint mértékadó kisvízi jellemzőnek) a 2/3 része, míg az L, M, és S méretkategóriájú vízgyűjtők esetében a vegetációs időszakban és azon kívül differenciáltan, a 4. táblázatban megadottak szerint kerül meghatározásra. Az S, és M méretű vízgyűjtők esetén a vegetációs időszakban előírt 90%-os tartósságú havi vízhozam számottevően nagyobb, mint a 95%, vagy a 97%-os tartósságú érték. Ez biztosítja, hogy ezeken a kisvízfolyásokon a meder minimális vízborítottsága lehetőleg egész évben megmaradjon.

4. táblázat. Minimum ökológiai lefolyás számítási módja a vízgyűjtő mérete és az éven belül megkülönböztetett időszakok alapján
Table 4. Minimum ecological flow calculation method based on the size of the watershed and the periods distinguished within the year

MINIMUM ÖKOLÓGIAI LEFOLYÁS ($Q_{\text{öko-min}}$) SZÁMÍTÁSA		Vegetációs időszakon kívüli hó- napok (november-február)	Vegetációs időszak (március-október)
Vízgyűjtő mé- rete	Duna méretű (XXL)	LKQ*2/3	LKQ*2/3
	Nagyon nagy (XL)	LKQ*2/3	LKQ*2/3
	Nagy (L)	Q97%*2/3	Q95%*2/3
	Közepes (M)	Q97%*2/3	Q90%*2/3
	Kicsi (S)	Q97%*2/3	Q90%*2/3

A kidolgozott tipológiai és módszertani javaslatok alapján az alábbiakban egy-egy – különböző vízgyűjtő-méret kategóriába sorolt – vízfolyás éves vízjárását mutatjuk be havi bontás-

ban. A kiválasztott vízfolyások lefedik a teljes tipológiai spektrumot, a „Duna-méretű” kategóriától a kicsi, azaz „S” méret-kategóriáig. A vizsgált víztestek az 1. ábrán láthatók.



1. ábra. Hidrológiai szempontból vizsgált vízfolyások és vízmérce állomások a hozzájuk tartozó teljes vízgyűjtő terület méretkategóriájának (S-XXL) és az erősen módosított víztestek (HMWB) megjelölésével

Figure 1. Hydrologically examined watercourses and water gauge stations with the size category of their entire catchment area (S-XXL) and the designation of heavily modified water bodies (HMWB)

Fontos, hogy a kiválasztott víztesteket a demonstráció érdekében a többi víztesttől elszigetelten vizsgáltuk, ugyanakkor a módszer alkalmazása során a vízkészlet-gazdálkodás és az ökológia által megkívánt módon, a teljes vízfolyás hossza mentén, illetve a teljes vízgyűjtőre vonatkozó vízmérleg alapján kell megvalósítani a környezeti vízigény (ökológiai és társadalmi igények) meghatározását és összehangolását!

Az elemzéshez a Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 2. ciklusában (VGT2) alkalmazott hidrológiai adatbázist használtuk fel, amely az 1981–2010 közötti időszakra vonatkozó, feldolgozott napi vízhozam-idősorokat tartalmazza. Ez lehetővé tette a VGT2-ben meghatározott ökológiai kisvíz értékével való összevetést (5. táblázat).

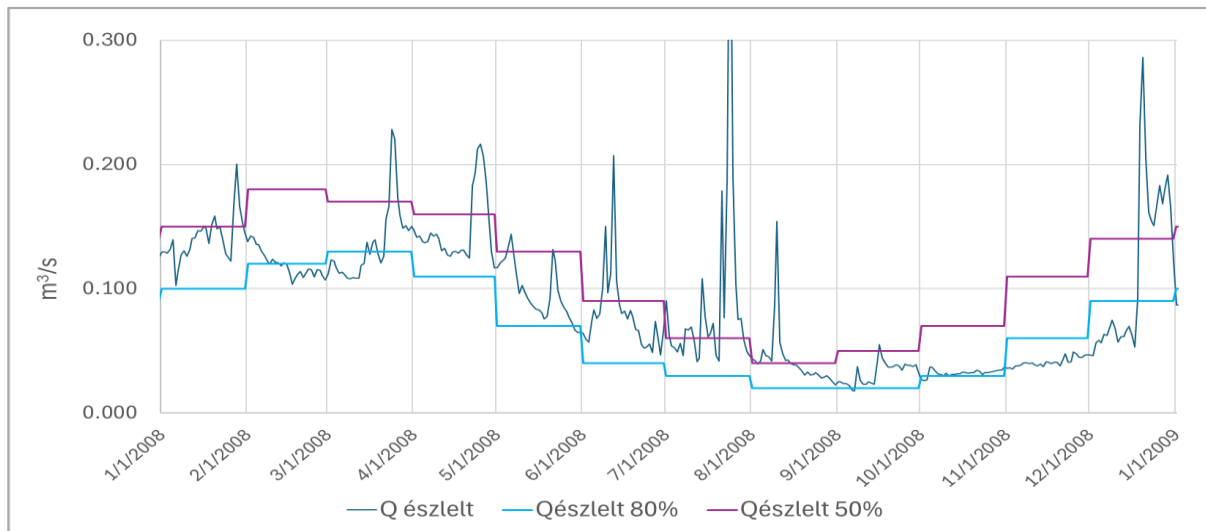
EREDMÉNYEK

Természetes felszíni víztestek

Az 1. ábrán bemutatott víztestek kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy lehetőség szerint természetes állapotú (ne erősen módosított) víztesteket vizsgáljunk, továbbá, hogy a társadalmi vízhasználatok (vízkivételek, vízbevezetések) lehetőleg ne befolyásolják jelentősen a természetes vízjárási viszonyokat. A szemléltetés érdekében ugyanakkor bemutatunk két nem hidrológiai, hanem morfológiai okokból erősen módosított besorolású víztestet, a Duna Budapest-Dunaföldvár közötti szakaszát, illetve a Zala Bárándi-patakig tartó szakaszát.

Egy tetszőleges vízfolyás víztestre vonatkozóan, amely rendelkezik a víztesten elhelyezkedő vízrajzi mérőállomással, a 3. és 4. táblázatban leírt mennyiségek és számítási módszerek segítségével megadhatók a víztest jellemző havi vízjárási adatai. A számítások eredményeként kapható havi vízjárási jellemzőket az alábbiakban az „Által-ér, Bokod” vízmérce példáján mutatjuk be.

A 2. ábrán láthatóak az észlelt (természetesnek vett) lefolyás sokéves havi jellemzői: az egyes hónapokra vonatkozó 50%-os és 80%-os tartósságú napi középvízhozam (napi átlagos vízhozam) éven belüli lefutásának idősorai. Továbbá szemléltetési célból az ábrán látható az adott vízmérceszelvény esetében, a lefolyás szempontjából átlagosnak mondható 2008-as naptári év napi észlelt vízhozam időszora.



2. ábra. Által-ér, Bokod: Jellemző vízhozamok és egy hidrológiai szempontból átlagos év (2008) észlelt vízhozam időszora
Figure 2. Által-ér, Bokod: Typical water discharges and a time series of observed water discharges in a hydrologically average year (2008)

A 4. táblázatban megadott számítási mód alapján meghatározásra kerültek az egyes hónapokra vonatkozóan a minimum ökológiai lefolyás ($Q_{\text{öko-min}}$) értékei, melyeket a 3. ábrán mutatunk be. A 3. ábrán emellett feltüntetésre került az 50%-os valószínűséggel mederben maradó vízmennyiség éves lefutása havi bontásban ($Q_{\text{meder } 50\%}$), feltételezve, hogy a hasznosítható vízkészletet maximális mértékben igénybe veszik. Továbbá a 2. ábrán bemutatott, átlagosnak tekinthető 2008-as év esetén a mederben maradó tényleges vízhozamokat ($Q_{\text{mederben maradó}}$) is ábrázoltuk, ugyanezen feltételezés mellett. A korábbi VGT módszertannal történő összevetés érdekében a 3. ábrán feltüntetettük a VGT2 keretében, kizárólag augusztus hónapra meghatározott ökológiai kisvíz értékét.

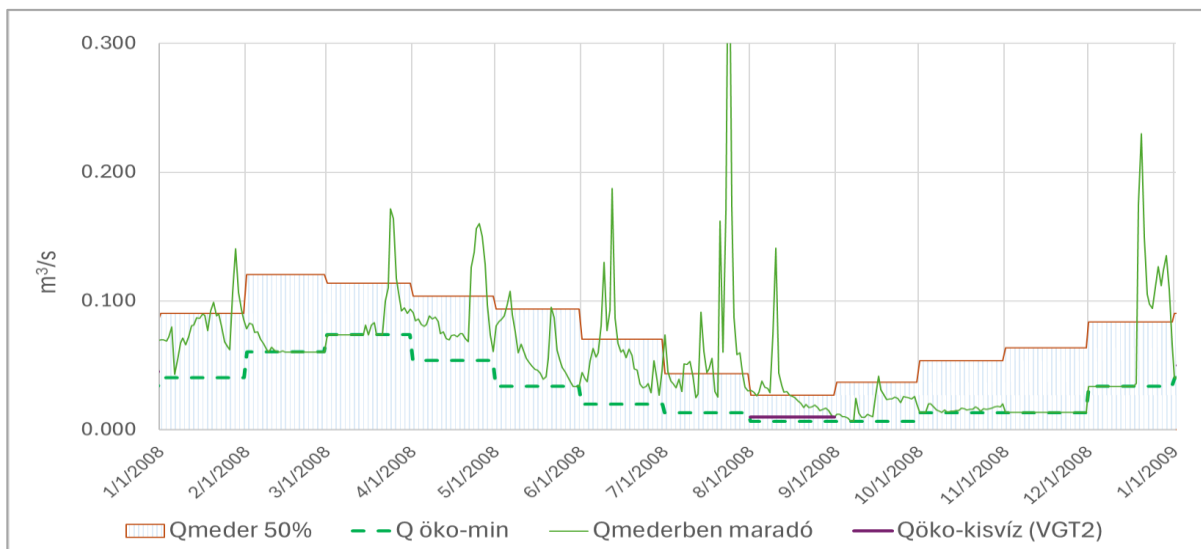
A 2. és a 4. ábrán látható, hogy 2008. február közepétől március közepéig, illetve november elejétől december közepéig az Által-ér bokodi szelvényében a tényleges észlelt vízhozam alatta maradt a $Q_{80\%}$ értéknek. Ebben az időszakban maximális vízhasználatokat feltételezve a vízkivételek korlátozására került volna sor, annak érdekében, hogy a mederbeli vízhozam ne csökkenjen a minimum ökológiai lefolyás ($Q_{\text{öko-min}}$) értéke alá. A 3. és 4. ábrán látható, hogy ezekben az időszakokban a mederben maradó vízhozam ($Q_{\text{mederben maradó}}$) megegyezik a minimum ökológiai lefolyás

értékével. Természetesen, amennyiben ezekben az időszakokban a hasznosítható vízkészlet nincs teljes mértékben kihasználva, akkor több víz marad a mederben, illetve nem-, vagy csak később válik szükségessé a vízkorlátozás.

Végül a 2. és a 3. ábrán feltüntetett görbékét közös grafikonon ábrázolva kapjuk a 4. ábrát, amely segítségével a jellemző vízhozamok viszonyíthatók egymáshoz.

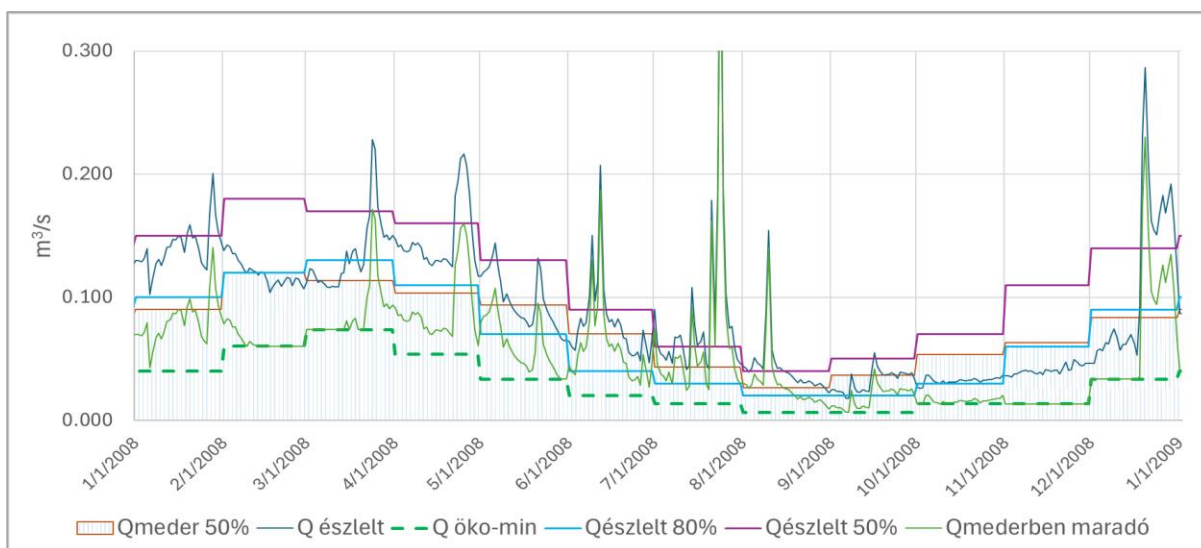
Az 5. ábrán bemutatjuk a további méretkategóriába eső vízfolyásokra készített összefoglaló ábrákat, a jobb láthatóság érdekében anélkül, hogy egy adott év tényleges vízhozamidősorát feltüntetnénk rajtuk. Az 5. ábra grafikonjain látható, hogy 50%-os tartósságú vízjárású esetben a mederben maradó készlet értéke (az ábrán függőlegesen sraffozott) eléri, vagy meghaladja a társadalom további céljai számára felhasználható készletértéket (az ábrákon a $Q_{\text{észlelt } 50\%}$ és a $Q_{\text{meder } 50\%}$ görbék közötti fehér terület). Ez különösen igaz a nagyobb változékonysággal rendelkező közepes és kis vízfolyások esetén. Mindez tükrözi, hogy a javasolt hidrológiai módszertan alkalmas az ökológiai igények és a társadalmi vízigények egyenrangú kezelésére.

A kiválasztott víztestekre vonatkozó adatokat összefoglalóan az 5. táblázat tartalmazza.



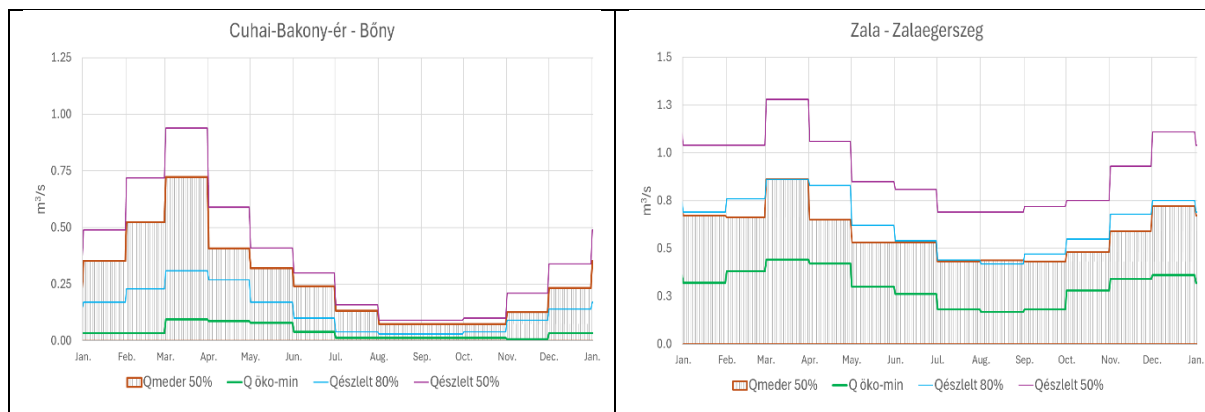
3. ábra. Által-ér, Bokod: Mederben maradó havi jellemző ($Q_{meder\ 50\%}$) vízhozamok és egy hidrológiai szempontból átlagos év (2008) tényleges mederben maradó vízhozam időszora a hasznosítható vízkészlet teljes igénybevétele esetén. Összehasonlításképpen a VGT2-ben augusztus hónapra meghatározott ökológiai kisvíz értékét is feltüntettük a grafikonon

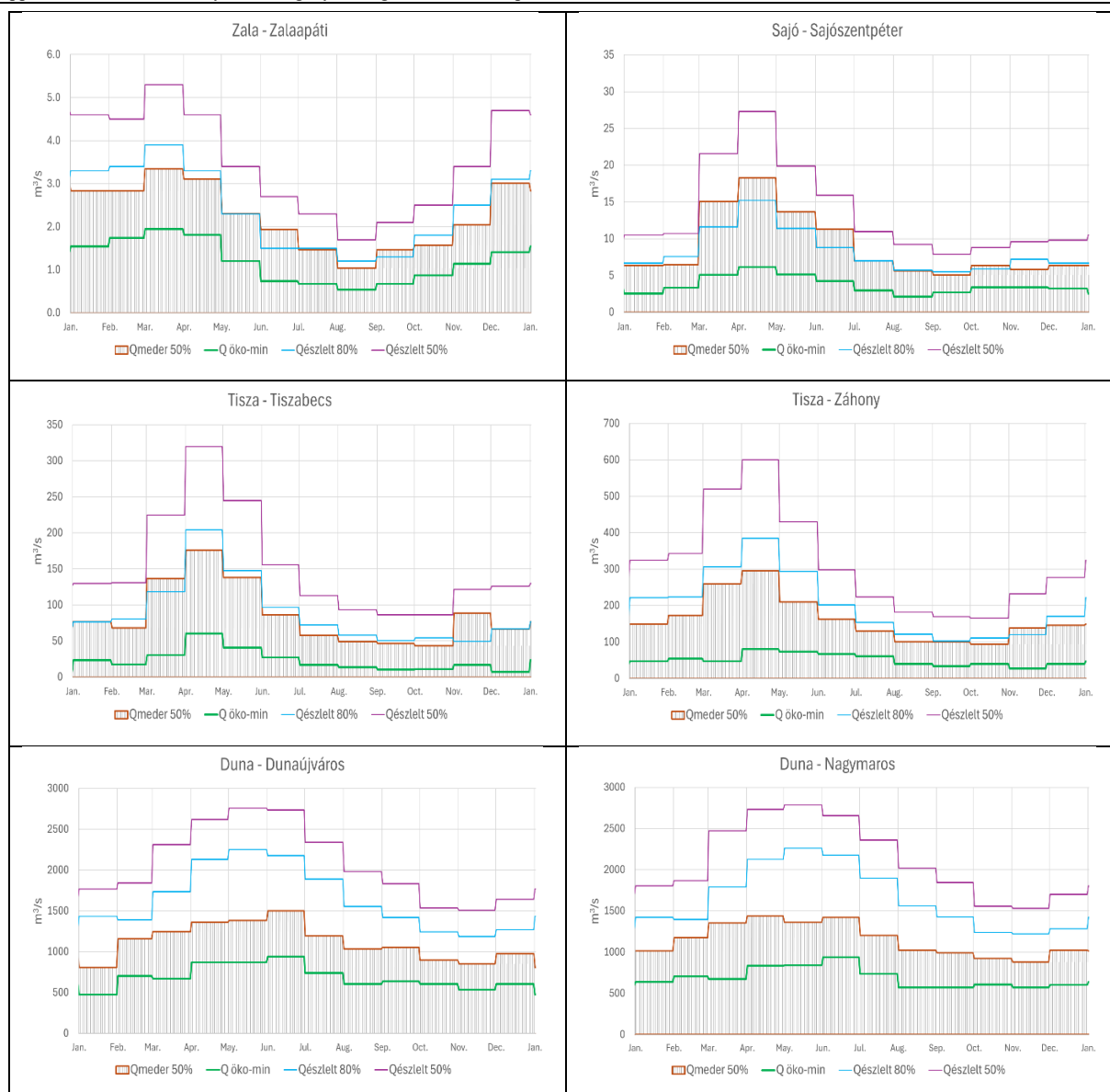
Figure 3. Által-ér, Bokod: Monthly characteristic ($Q_{meder\ 50\%}$) water discharges remaining in the riverbed and a time series of actual water discharge remaining in the riverbed for a hydrologically average year (2008) in the case of full use of the usable water resource. For comparison, the ecological low water value determined in VGT2 for the month of August is also shown on the graph



4. ábra. Által-ér, Bokod: Jellemző vízhozamok és egy hidrológiai szempontból átlagos év (2008) észlelt vízhozam időszora, valamint mederben maradó vízhozam időszora a hasznosítható vízkészlet teljes igénybevétele esetén

Figure 4. Által-ér, Bokod: Typical water discharges and a time series of observed water discharge in a hydrologically average year (2008), as well as a time series of water discharge remaining in the riverbed in the case of full use of the usable water resource





5. ábra. Kiválasztott víztestek havi bontású környezeti vízigényének hidrológiai módszerrel történő meghatározását bemutató grafikonok, feltüntetve a vízmérceszelvénnyre jellemző 50%-os és 80%-os tartósságú vízhozamokat, valamint a minimum ökológiai lefolyás havi értékeit, illetve az 50%-os valószínűséggel mederben maradó vízmennyiséget, a hasznosítható vízkészletek teljes igénybevétele esetén. A hasznosítható vízkészlet a $Q_{80\%}$ -os vízhozam és a minimum ökológiai lefolyás között rendelkezésre álló pillanatnyi készlet

Figure 5. Graphs showing the determination of the monthly environmental water demand of selected water bodies using the hydrological method, indicating the 50% and 80% sustainable water flows characteristic of the water gauge profile, as well as the monthly values of the minimum ecological flow, and the amount of water remaining in the riverbed with a 50% probability, in the case of full use of the usable water resources. The usable water resource is the instantaneous resource available between the $Q_{80\%}$ water flow and the minimum ecological flow

A korábban említettek szerint ökológiai szempontból indokolt, hogy a havi bontásban meghatározott hasznosítható vízkészlet értékeket a közvetlen társadalmi vízigények kielégítése szempontjából maximálisan felhasználható értékek, azaz felső korlátnak tekintjük. Ehhez kapcsolódóan megjegyzendő, hogy a klímaváltozás kapcsán, az aszálytalaj sújtott területek

vízzel történő ellátása érdekében felmerült a táj vízfolyásokból történő nagyobb volumenű vízpótlása. Javaslatunk erre vonatkozóan, hogy a vízfolyások természetes vízjárási jellegének megőrzése érdekében ilyen ökológiai célú vízpótlást az 50%-os tartósságú vízhozamot elérő, vagy azt meghaladó vízhozamok esetén lehessen üzembe helyezni.

5. táblázat. A javasolt módszertan eredményeinek bemutatásához kiválasztott víztestek adatai
Table 5. Data on water bodies selected to present the results of the proposed methodology

Víztest	Vízgyűjtő terület (km ²)	Vízfolyás	Vízmerce	Erősen módosított	Típus	Öko. kisvízi készlet (VGT2) (m ³ /s)	Minimum ökológiai lefolyás a javasolt módszertan szerint			
							legkisebb havi érték (m ³ /s)	legkisebb értékhez tartozó hónap	legnagyobb havi érték (m ³ /s)	legnagyobb értékhez tartozó hónap
Által-ér felső	105	Által-ér	Bokod	NEM	3S	0,013	0,007	aug.	0,074	márc.
Cuha (Bakony-ér) alsó	570	Cuhai Bakony-ér	Böny	NEM	3M	0,079	0,007	nov.	0,094	márc.
Zala (Széplaki patakig)	1 168	Zala	Zalaegerszeg	NEM	4L	0,174	0,168	aug.	0,442	márc.
Zala (Bárándi patakig)	1 568	Zala	Zalaapáti	IGEN	7L	0,211	0,536	aug.	1,943	márc.
Sajó felső	3 219	Sajó	Sajószentpéter	NEM	4L	1,739	2,144	aug.	6,164	ápr.
Tisza országhatártól Túríg	10 884	Tisza	Tiszabecs	NEM	4L	29,101	7,102	dec.	60,434	ápr.
Tisza Szipa-főcsatorná-tól Belfőcsatornáig	33 722	Tisza	Záhony	NEM	8N	40,124	26,800	nov.	80,400	ápr.
Duna Szob–Budapest között	181 814	Duna	Nagymaros	NEM	9K	941,428	570,170	aug.	941,350	jún.
Duna Budapest–Dunaföldvár között	185 468	Duna	Dunaújváros	IGEN	9K	944,552	472,350	jan.	941,350	jún.

Erősen módosított vízfolyások

Erősen módosított folyóvizek vagy állóvizek a természetes módon létrejött víztestek azon része, amelyek igazolt társadalmi igények miatt olyan mértékű hidrológiai vagy morfológiai terhelés alatt állnak, hogy a VKI szerinti állapotértékelésük alapján külön kategóriában kell kezelni ezeket (WDF 2000). A VKI szerinti célkitűzésük nem azonos a természetes vízfolyások, állóvizek esetében értelmezett jó állapottal. A VKI e víztestek számára a jó ökológiai potenciált és jó kémiai állapotot írja elő jó állapotként (WFD 2000).

Ezek a víztestek valójában eredendően természetes víztestek voltak, tehát van hozzá tartozó természetes vízgyűjtő/vagy részvízgyűjtő területük és ebből adódóan önálló vízkészletük is. Fontos, hogy a nemzetközi szakirodalomban a környezeti vízigény (environmental flow) meghatározásának módszertanaiban nem jelenik meg az EU-VKI szerinti víztest felosztás (természetes, erősen módosított, mesterséges víztestek megkülönböztetése).

Amennyiben tehát egy víztest morfológiai beavatkozások miatt lett erősen módosított akkor ott elsődlegesen terhelés-csökkentő intézkedéssel kell az állapotjavítást biztosítani, ezen esetekben kizárólag hidrológiai beavatkozásokkal a jó ökológiai potenciál nem érhető el.

A morfológiai okok miatt erősen módosított víztestek esetében ezért a környezeti vízigény meghatározásának módszertana nem tér el a természetes vízfolyásokra alkalmazandó módszertantól.

Ha a vízfolyás hidrológiai viszonyaiba történő emberi beavatkozás önmagában is erősen módosított állapotot okoz, akkor mindig egyedi vizsgálat szükséges a módosított állapotban a környezeti vízigény megállapítására, amely alapja az erősen módosítás okainak a figyelembevétele és az erősen módosított víztesthez leginkább hasonló természetes víztest referenciaállapota.

Mesterséges víztestek

Mesterséges víztestek azok a felszíni víztestek, amelyeket emberi tevékenység hozott létre, így történelmileg önálló felszíni vízgyűjtővel nem rendelkeztek. Ezeket a víztesteket tulajdonképpen a vízkészlettel rendelkező víztesten megjelenő önálló vízigényként, vízelvonásként kell kezelni. A létrehozásukkal ugyanakkor azon túl, hogy egy adott társadalmi igény kielégítését ellátja, egyben vízes-élőhelyé is válik, amelynek fenntartása és a kialakult élőhely védelme egyben a VKI-ből fakadó kötelezettség. A VKI e víztestek esetén szintén jó ökológiai potenciált és jó kémiai állapotot ír elő jó állapotként.

Fentiek alapján a mesterséges víztestek esetén is szükség van a környezeti vízigény megállapítására. Ez a mesterséges víztestek esetében mindig egyedi vizsgálatot igényel. Itt abból lehet kiindulni, hogy azok a társadalmi vízhasználatok a meghatározók, amelyek kielégítése céljából létrehozták a víztestet. Ilyen víztestek létrehozása mindig vízjogi engedélyezésen kell, hogy alapuljon, amely keretében – javaslatunk szerint – abból a feltételből kell kiindulni, hogy elsődleges védelem azt a természetes vagy erősen módosított víztestet illeti, amely vízkészletéből a vízátvezetés vagy vízkivétel megtörténik. Amennyiben a mesterséges víztesten megjelenő társadalmi vízigény, mint vízszolgáltatási igény a teljes évre vonatkozik, és ez biztosítható, akkor külön minimum ökológiai lefolyást előírni nem szükséges.

Amennyiben egy felszíni mesterséges vízfolyás-víztesten megjelenő társadalmi igény csak időszakos vízátvezetést tesz szükségessé, akkor a víztest élővíz ellátása a társadalmi vízigény szüneteltetése esetén is indokolt. Ezt a vízminőség védelme érdekében is fenn kell tartani, a pangó vizek elkerülése érdekében és elsődlegesen a vízfolyás jelleg megőrzéséhez minimálisan szükséges vízátvezetés értékét kell meghatározni egyedi vízjogi engedélyezési eljárás keretében.

Alkalmazás a VGT4-ben

Javaslatunk az új módszertan kialakítására tehát az, hogy első körben hidrológiai megközelítésből indokolt kiindulni mert erre van megfelelő mértékű múltbeli és folyamatos monitoring adat. A hidrológiai módszerhez aztán indokolt esetben hozzá kell kapcsolni a vízfolyás morfológia alapján a hidraulikai jellemzőket és további ökológiai szempontokat, amelyek befolyásolják az élőhelyeket. A kidolgozás alatti VGT4 keretében célszerűnek tartjuk a módszer alkalmazását az állapotértékelés során. Elsősorban a közepes és kicsi (M, S) vízgyűjtők esetében terepi bejárások során a mederben maradó víztér alapján, ha kell módosítást eszközölve a minimális ökológiai lefolyás meghatározási módjában, felülvizsgálva a 4. táblázatban szereplő tartóssági értéket és a 2/3-os szorzótényező értékét.

A Vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés alap építőeleme a víztest. Egyes vízfolyások több víztestre kerültek felosztásra. Ugyanakkor a VKI vízgyűjtő szemlélete alapján vízterekre vonatkozóan – azaz a teljes vízfolyás hossza mentén összefüggően kell meghatározni és biztosítani a környezeti vízigényt (WFD 2000). Ehhez a vízkészletgazdálkodásban alkalmazott vízmérleg alapú szemlélet (területi vízmérleg és vízkészlet-gazdálkodási hossz-szelvény készítés) megfelelő alapot nyújt.

A környezeti vízigények javasolt hidrológiai módszerrel történő meghatározásához minden vízfolyás víztestre szükséges

- a havi vízmérleg készítés, és
- a nem-mért vízgyűjtőkre vonatkozóan a havi vízjárási jellemzők víztest szintű meghatározása.

Ez a feladat igényli egyfelől új kisvízi hidrológiai módszertanok bevezetését, illetve hidrológiai modellezési esz-

közök alkalmazását, másrészt a vízrajzi mérőhálózat fejlesztését. Ezekre vonatkozóan a projekt keretében elkészülő végleges jelentésben részletesebb javaslatot teszünk.

ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmányban bemutatuk a környezeti vízigényen belül az ökológiai vízigénynek és a társadalmi vízigények számára hasznosítható vízkészleteknek a hidrológiai meghatározási módját, melyben több új elem szerepelt:

- Újdonság, hogy a módszer a környezeti vízigénynek (environmental flow) a teljes évre vonatkozóan mind az ökológiai, mind a társadalmi vízigények kielégítésére vonatkozó feltételeit megadja, megteremtve ezáltal a kétféle igény kompromisszumos összehangolásának kiindulási alapját.
- A módszertan havi bontásban, a vizsgált vízfolyásra jellemző éves ciklus figyelembevételével rendelkezik a minimum ökológiai lefolyás értékéről.
- A közép- és nagyvizek dinamikájának védelme érdekében előírja a hasznosítható vízkészletek maximumát, szintén havi bontásban. A 80%-os tartósságú vízhozamok felett vízkivételre csak az 50%-os tartósságot meghaladó vízhozamok előállása esetén van lehetőség.
- A módszertan külön kezeli az erősen módosított és mesterséges víztesteket
- A hidrológiai adatbázis 6 évenkénti frissítése biztosítja a klímaváltozás hatásainak figyelembevételét, továbbá a havi bontással együtt az időszakossá váló vízfolyások környezeti vízigényének meghatározása is kezelhetővé válik.
- Az ökológiai vízigények és hasznosítható vízkészletek meghatározásakor előírt feltételek (4. táblázat) a vízhasználatokat a vízbő időszakok felé, azon belül is a vegetációs időn kívüli hónapokra igyekezik terelni. Ez a víztározás szerepének felértékelődését hozza magával.

Azon elemek figyelembevételére, amelyek a környezeti vízigény szemlélet érvényre juttatásához még hiányoznak, a vízgyűjtőgazdálkodási tervezés során lehetőség van. E tényezők magukba foglalják a medermorfológia hatását, a vízminőségi jellemzők figyelembevételét és a meglévő ökoszisztéma élőlényegyütteseinek tényleges igényeit. Ezek javaslatunk szerint a holisztikus módszertan eszközeivel, terepi bejárások és adatgyűjtések útján határozhatók meg. Ezen információk birtokában a hidrológiai módszertan során meghatározott környezeti vízigény (azaz az ökológiai és társadalmi vízigények közötti egyensúly) pontosítható.

Az itt bemutatott módszertani javaslat folytatásaként, illetve a Vízudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium Projekt keretében az ökológiai vízigények meghatározásának módszertani felülvizsgálata tárgyában elvégzendő tevékenységek utolsó feladataként a javasolt módszertan alkalmazása egy síkvidéki és egy dombvidéki mintaterületen kerül részletesen is bemutatásra.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A közleményben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében a Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Laboratórium (RRF-2.3.1-21-2022-00008) Projekt támogatásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Arthington, A.R., Zalucki, M.J. (1998). Comparative evaluation of environmental flow assessment techniques: Review and methods. - Land and Water Resources Research and Development Corporation: Canberra, Australian Capitol Territory.

Benetti, A.D., Lanna, A.E., Cobalchini, M.S. (2004). Current practices for establishing environmental flows in Brazil. - River Research and Applications, 20. pp. 427-444. <https://doi.org/10.1002/rra.758>

Brisbane Declaration (2007). Summary Findings and a Global Action Agenda. - 10th International River Symposium and International Environmental Flows Conference, 3-6 September 2007, Brisbane, Australia, <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/>

Dévai G., Aradi C. (1998). Ökológiai vízminőség. A nemzeti vízgazdálkodási stratégia kidolgozásának alapozó tanulmánya, MTA, Budapest, kézirat.

Dévai G., Aradi C., Csabai Z. (1998a). Ökológiai víz-igény. A nemzeti vízgazdálkodási stratégia kidolgozásának alapozó tanulmánya, MTA, Budapest, kézirat.

Dévai G., Nagy S., Wittner, I., Aradi Cs., Csabai Z., Tóth A. (1998b). A vízi és a vizes élőhelyek sajátosságai és tipológiája oktatási segédanyag, KLTE Ökológiai Tanszéke, Hidrobiológiai Részleg, 1998, Debrecen.

Domokos M. (1999). A mederben hagyandó vízhozam értelmezésének múltja és jövője, Vízügyi Közlemények, LXXXI. évfolyam, 1. füzet. 169-171

EC (2003). Identification and Designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies, Guidance Document No. 4, Produced by Working Group 2.2 – HMWB, ISBN 92-894-5124-6, ISSN 1725-1087

EC (2015). Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Guidance Document No. 31, - ISBN 978-92-79-45758-6, ISSN 1725-1087.

EU (2015). Guidance document on the application of water balances for supporting the implementation of the WFD. – ISBN 978-92-79-52021-1

Grabowski, R.C., Gurnell, A.M. (2016). Hydrogeomorphology–ecology interactions in river systems. - River Research and Applications, 32. 139-141. <https://doi.org/10.1002/rra.2974>

GWP (2003). <https://www.gwp.org/en/About/why/the-need-for-an-integrated-approach/>: [Elérve: 2025.04.20.].

Horváth Á. (2024). Magyarország határmenti térségeinek vízkészletmegosztási előírásai esettanulmány a Lajta nemzetközi vízátadási kérdéseire vonatkozóan. - Hidrológiai Vándorgyűlés XLI., Szolnok. https://www.hidrologia.hu/vandorgyules/41/word/0206_horvath_agnes.pdf [Elérve: 2025.04.20.].

Horne, A.C., Webb, J.A., Stewardson, M.J., Richter, B., Acreman, M. (2017). (Eds.): Water for the environment from policy and science to implementation and management. – Elsevier Publishing, London, Academic Press, ISBN: 978-0-12-803907-6

Ijjas I. (2019). Lehet-e integrált vízgazdálkodás intézményi integráció nélkül?, Hidrológiai Közöny 99. évf. 1. szám, pp. 3-11. https://www.hidrologia.hu/wp-content/uploads/2023/11/HK2019_01.pdf [Elérve: 2025.04.20.].

King, J., Tharme, R.E., Brown, C. (2008). Environmental Flow Assessments for Rivers: - Manual for the Building Block Methodology (updated edition). Gezina, Water Research Commission.

King, J.M., Tharme, R.E., de Villiers, M.S. (2003). Environmental Flow Assessments for Rivers. - Manual for the Building Block Methodology. Pretoria, Water Research Commission.

Linnansaari, T., Monk, W.A., Baird, D.J., Curry, R.A. (2013). Review of Approaches and Methods to Assess Environmental Flows across Canada and Internationally. - Research Document 2012/039. Ottawa, Canadian Science Advisory Secretariat.

Merenlender, A.M., Matella, M.K. (2013). Maintaining and restoring hydrologic habitat connectivity in Mediterranean streams: an integrated modeling framework. - Hydrobiologia, 719:509–525. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1468-y>

Merritt, D.M., Scott, M.L. LeRoy, Poff, N., Auble, G.T., Lytle, D.A. (2010). Theory, methods and tools for determining environmental flows for riparian vegetation: riparian vegetation-flow response guilds. Freshwater Biology, 55:206–225.

OVF (2013). Vízrajzi fogalomtár. <http://www.ovf.hu/hu/vizrajzi-fogalomtar> [Elérve: 2025.04.20.].

Pahl-Wost, C., Arthington, A., Bogárdi, J. (2013). Environmental flows and water governance: managing sustainable water uses. Science Direkt - https://www.researchgate.net/publication/250916376_Environmental_flows_and_water_governance_Managing_sustainable_water_uses [Elérve: 2024.10.03]

Poff, N.L., Richter, B.D., Arthington, A.H., Bunn, S.E., Naiman, R.J., Kendy, E., Acreman, M., C. Apse, B.P. Bledsoe, M.C. Freeman, J. Henriksen, R.B. Jacobson, J.G. Kennen, D.M. Merritt, Keeffe, J.H.O., Olden, J.D., Rogers, K., Tharme, R.E., Warner, A. (2010). The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. - Freshwater Biology, 55: pp. 147-170. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02204.x>

Richter, B.D., Warner, A.T., Meyer, J.L., Lutz, K. (2006). A collaborative and adaptive process for developing environmental flow. - River Res. Applic. 22, 297-318. <https://doi.org/10.1002/rra.892>

Rodríguez-Gallego, L., Chreties, C., Crisci, M. M., Fernández, N. Colombo, B. Lanzilotta, M. Saravia, Neme, C., Sabaj S., Conde, D. (2012). Fortalecimiento del concepto de Caudales Ambientales como Herramienta para la

Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. - Montevideo, PNUMA y Vida Silvestre Uruguay.

Speed, R., Gippel, C., Bond, N., Bunn, S., Qu, X., Zhang Y., Liu, W., Jiang, X. (2012). Assessing River Health and Environmental Flow Requirements in Chinese Rivers. - Brisbane, International Water Centre.

Szalay M. (2009). „Vízgyűjtő-gazdálkodási tervek készítése” című KEOP-2.5.0. A kódszámú projekt megvalósítása a tervezési alegységekre, valamint részvízgyűjtőkre, továbbá ezek alapján az országos vízgyűjtő-gazdálkodási terv, valamint a terv környezeti vizsgálatának elkészítése (TED [2008/S 169-226955]): Fiziko-kémiai és kémiai minősítő rendszer. - Témabeszámoló a VKKI részére, Háttéranyag, kézirat http://www2.vizeink.hu/files2/2_3_hatteranyag_pdf.zip [Elérve: 2025.04.20.].

Tharme, R.E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trend sin the development and application of environmental flow methodo-

logies for rivers. - Rivers Research and Application 19, pp. 397-441. <https://doi.org/10.1002/rra.892>

VGT1 (2010). Magyarország első Vízyűjtő-gazdálkodási Terve. 1127/2010. (V.21.) Korm. határozat melléklete.

VGT2 (2016). Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Terve. – OVF, <https://vizeink.hu/vizgyujto-gazdalkodasi-terv-2012-2015/vgt2-elfogadott/>

VGT3 (2022). Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Terve. – OVF, <https://vizeink.hu/vizgyujto-gazdalkodasi-terv-2019-2021/vgt3-elfogadott/>

Vízkezelésgazdálkodási évkönyv (1962). Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Budapest

Vízkezelésgazdálkodási évkönyv (1971). Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Budapest

WFD (2000). Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC Establishing a framework for community action in the field of water policy. European Union, Luxembourg PE-CONS 3639/1/00 REV 1.

A SZERZŐK



CHAPPON MÁTÉ okleveles vízépítőmérnök (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2014). Tanársegéd a Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszékén. Jelenleg a Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományok Doktori Iskolájának negyedéves doktorandusz hallgatója. Kutatási területe az integrált vízkészlet-gazdálkodás, különös tekintettel a víz értékén alapuló döntéshozatal tudományos megalapozására. Az MTA VEAB Vízgazdálkodási munkabizottságának titkára.



JANÁK EMIL víz- és szennyvíztechnológus, okleveles vízépítőmérnök (Budapesti Műszaki Egyetem), 1982-től víziközmű tervező a Tervező Intézetben, 1984-től üzemviteli csoportvezető az Észak-dunántúli Víz- és Csatornaműnél, majd 1987-től 2013-ig az Északdunántúli Vízügyi Igazgatóságnál dolgozott. Először vízkészletgazdálkodási csoportvezető, később vízgazdálkodási osztályvezető végül 1999-től igazgatói minőségben. Jelenleg a VTK Innosystem Kft-ben dolgozik tervezőként. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja, a Magyar Mérnök Kamara Vízgazdálkodási és Vízépítési tagozat tervezői szakértői minősítő testület tagja.



SZILÁGYI FERENC PhD, okleveles biológia-kémia szakos középiskolai tanár (ELTE TTK, 1979), a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Kar Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszékének címzetes egyetemi tanára. Fő szakterülete a hidrobiológia, vízgyűjtő-gazdálkodás, vízminőség-szabályozás. A Magyar Hidrológiai Társaság (MHT), a Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség, és a Budapesti és Pest Megyei Mérnökkamara tagja, szerkesztőbizottsági tag a Hidrológiai Közlöny és a Journal of Fisheries Science folyóiratoknál.



SZALAY MIKLÓS† okleveles vízépítőmérnök (Budapesti Műszaki Egyetem, 1975), okleveles hidrológus (Dipl. Hydrol, Delft, IHE 1980) az MHT tagja. A vízügyi ágazatban több évtizedes múlttal rendelkezett. Az utóbbi évek során az Országos Vízügyi Főigazgatóság Vízyűjtő-gazdálkodási Osztályán és a VIZITERV Environ Nonprofit Kft.-nél szakági szakértőként dolgozott vízkészlet-gazdálkodási és hidrológiai feladatokon. 2024. december 24-én hunyt el.



BENE KATALIN PhD okleveles építőmérnök (BME, 1987), 1991-ben szerzett MSc diplomát vízépítőmérnöki szakon a University of South Carolina egyetemen, majd ugyanitt 1996-ban PhD-fokozatot. A doktori fokozat megszerzését követően posztdoktori kutatóként és oktatóként dolgozott a University of South Carolina-n. 2011 óta a Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszékének docense, valamint a Vízgazdálkodási Kutatócsoport vezetője. A VEAB Vízgazdálkodási Munkabizottságának elnöke, továbbá számos hazai és nemzetközi kutatási projekt (pl. Horizon, KEHOP) szakmai vezetője. 2015 óta a Magyar Tudományos Akadémia köztestületi tagja.

A mikroszkópos biológiai vizsgálatok jelentősége az ivóvíz minőségének ellenőrzésében – egy magyarországi települési ivóvízszennyezés laboratóriumi aspektusainak bemutatása

Lippai Anett¹

¹ Biokör Technológiai és Környezetvédelmi Kft., Budapest, Bláthy Ottó u. 41, 1089 (e-mail: lippai.anett@gmail.com)

DOI: 10.59258/hk.20606



Kivonat

Az indikátor szervezetek alkalmazása kulcsfontosságú az ivóvíz minőségének ellenőrzésében. A hazai jogszabályozás szerint az ellenőrzés rendje a vízminták mikroszkopikus biológiai vizsgálatára is kiterjed, amely az ivóvíz hálózatban megjelenő mikroszkopikus élőlények kimutatására fókuszál. Az elosztóhálózatban megtalálható szervezetek többsége nem patogén, az emberi egészséget nem veszélyeztetik, azonban szerepet játszhatnak a kórokozók terjesztésében, továbbá hozzájárulnak a fertőtlenítőszerrel szembeni védelemben, a fogyasztói pontokon pedig íz- és szagbeli elváltozásokat is okozhatnak. Vizsgálatuk azért is fontos, mert a vízhálózatban bekövetkezett változásokat indikálják: jelezhetnek nyersvíz eredetű szennyeződést, hálózati utószaporodást, pangást, biofilm képződést és nem utolsósorban technológiai problémákat is. A mikroszkópos biológiai vizsgálatok egyik fő előnye a gyorsaság, amely különösen rendkívüli szennyezettség esetében lényeges, hogy a mintavételt követően minél hamarabb eredményt szolgáltatasson a vizsgáló laboratórium. Munkánk során részt vettünk egy magyarországi település vízszennyezésének laboratóriumi vizsgálataiban, a havi időszak alatt 35 minta mikroszkópos biológiai vizsgálatát végeztük el különböző mintavételi pontokon. A mintákból egysejtűeket (*Protozoa sp.*), fonálférgeket (*Nematoda sp.*), kerekcsigákat (*Rotatoria sp.*) és ízeltlábú szúnyoglárvaakat (*Chironomidae sp.*) mutattunk ki, a szervezetek megjelenése azonban sztochasztikus volt a vizsgált időszakban. A mikroszkopikus élőlények főként a fogyasztói pontokon voltak megtalálhatók, a víztároló medencékben 1-1 alkalommal jelentek meg, a hálózatra menő vezetekben nem voltak kimutathatók. Ez arra enged következtetni, hogy a probléma nem a víztermelő kutak technológiájában volt keresendő, hanem a hálózatban bekövetkezett változás (pl. házi víztisztító berendezések, pangás, biofilm képződés) miatt jelentek meg a szervezetek. Az ízeltlábúak azonban a víztárolók sérülésének köszönhetően kerülhettek be a rendszerbe, amelyet igazol az is, hogy nemcsak a fogyasztói pontokon, hanem a víztároló medencékben is megjelentek. A megfelelő vízkezelési eljárásoknak köszönhetően a mikroszkopikus szervezetek száma csökkent, a vizsgált időszak végén pedig nem voltak a mintákból kimutathatók. A havi időszakot követően a mintavételek rendje az önellenőrzési tervnek megfelelően havonta történik tovább, a vízminták megfelelő minőségűek.

Kulcsszavak

Ivóvíz minőség, mikroszkópos biológiai vizsgálatok, fonálféreg, vízkezelés.

The importance of microscopic biological analysis in the control of drinking water quality – the presentation of the laboratory aspects of the water pollution in a Hungarian settlement

Abstract

The application of indicator organisms is crucial in the monitoring of drinking water quality. According to national regulations, the monitoring protocol also includes the microscopic biological examination of water samples, which focuses on the detection of the living organisms. Most of the organisms found in the distribution systems are non-pathogenic and do not pose a risk to human health; however, they can play a role in the transmission of pathogens and contribute to protection against disinfectants and also cause taste and smell changes at the consumer endpoints. Their examination is also important because they can indicate the changes within the water system: they may signal raw water contamination, post-contamination growth within the system, stagnation, biofilm formation, and, not least, technological issues.

One of the main advantages of microscopic biological examinations is that they are not time-consuming, which is particularly crucial in cases of severe contamination, as it allows the testing laboratory to provide results as soon as possible after the sampling. During our work, we participated in the laboratory analysis of a Hungarian settlement's water contamination event: we performed microscopic biological examinations on 35 samples from various sampling points. Protozoa (*Protozoa sp.*), nematodes (*Nematoda sp.*), rotifers (*Rotatoria sp.*), and arthropod mosquito larvae (*Chironomidae sp.*) were identified from the samples. However, the occurrence of these organisms was stochastic throughout the examined period. Microscopic organisms were mainly detected at the consumer endpoints of the drinking water system; they only appeared once in the reservoir pools and were not present in the water going directly into the system. This suggests that the problem was not related to the technology of the water production wells but rather to changes within the distribution system itself (e.g., household water purifiers, stagnation, biofilm formation). The arthropods, however, may have entered the system due to damage to the reservoir pools, which is supported by their appearance not only at consumer endpoints of the drinking water system but also in the pools themselves. Thanks to the appropriate water treatment processes, the number of microscopic organisms decreased, and, by the end of the examined period, they were no longer detectable in the samples. Following the emergency period, sampling continued monthly in accordance with the self-monitoring plan, and the water samples have had appropriate drinking water quality.

Keywords

Drinking water quality, microscopical analysis, nematodes, water treatment.

BEVEZETÉS

Magyarországon az ivóvíz minőségi követelményeit és az ellenőrzések rendjét az 5/2023 (I.12.) Kormányrendelet (továbbiakban Kormányrendelet) szabályozza: meghatározza azon kémiai és biológiai paramétereket (és azok határértékeit, valamint parametrikus értékeit), amelyeket laboratóriumi vizsgálatokkal szabályozott időközönként ellenőrizni kell. A biológiai vizsgálatok mikrobiológiai és mikroszkópos biológiai jellemzőket foglalnak magukban, amelyek indikátor paraméterként mutatják az esetleges problémákat a vízhálózatban: a ivóvíz előállítás helyétől kezdve a fogyasztói pontokig (5/2023 I.12. Kormányrendelet).

A mikrobiológiai és kémiai indikátor paraméterek mellett a mikroszkopikus szervezetek, mint például vas- és mangánbaktériumok, gombák, fonálférgek, kerekesszék, véglények stb. vizsgálata is hozzájárulnak az ivóvíz minőségének ellenőrzéséhez, vízhiányos indikátor szervezetek révén jelenlétükkel a szennyezés eredetére lehet következtetni (Plutzer és Törökné 2012, Bufa-Dórr és társai 2023). Az ivóvizek mikroszkópos biológiai vizsgálatának kezdete hazánkban 1895-re tehető, majd az 1960-as évektől kezdve az indikátor szervezetek kimutatása mindennapos gyakorlattá vált. Az első publikációk 1977-ből származnak, a rutin ellenőrző vizsgálatok közé a 2001-es évtől került be, az akkori hazai szabályozásnak megfelelően. Több vizsgálat is alátámasztotta már a múltban is a mikroszkopikus szervezetek kimutatásának fontosságát, világszerte azonban mai napig nem terjedt el az ivóvizek ilyen jellegű analízise, néhány közép-európai ország például Szlovákia, Csehország és Magyarország kivételével (Plutzer és Törökné 2012).

Az ivóvíz hálózatban megtalálható mikroszkopikus élőlények többnyire nem patogén, szabadon élő szervezetek, az emberi egészséget nem veszélyeztetik, azonban szerepet játszhatnak kórokozók (vírusok, baktériumok,

protozoák) terjesztésében, valamint védelmet biztosítanak számukra a fertőtlenítőszerrel szemben, ezáltal hozzájárulnak a vízhálózatban tartásukhoz és terjesztésükhöz is. Fontos megjegyezni, hogy a fogyasztói pontokon okozhatnak íz- és szagbéli problémákat is (Bichai és társai 2009, Bufa-Dórr és társai 2023). A vizsgálatok előnye, hogy módszertanilag viszonylag egyszerűen kivitelezhetők, így a mintavételtől számítva 1-2 órán belül eredményt kaphatunk, ezáltal az ivóvíz hálózatban történt szennyeződés eredetére gyorsan következtethetünk, és elvégezhetjük a szükséges beavatkozásokat. A szennyezés származhat a termelő kútból/vízvezetéstől, utalhat technológiai problémákra (pl. homokszűrők) vagy hálózati problémákra (csőtörés, pangó víz, biofilm képződés, házi víztisztító berendezések stb.). Amikor a mikroszkopikus szervezetek megjelennek a vízhálózatban, törekedni kell az okok felderítésére és a probléma megszüntetésére. Fontos kérdés továbbá az is, hogy a vizsgálatok során mely élőlény csoportok okozzák a parametrikus értékek túllépését, mivel minden csoport más-más problémát jelez és más-más megoldást igényelnek (Bufa-Dórr és társai 2023).

A vizsgálandó mikroszkópos biológiai paramétereket és a parametrikus értékeket a Kormányrendelet 1. számú mellékletének 4. táblázata tartalmazza (1. táblázat). Amennyiben a mért értékek a parametrikus értékeket meghaladják, a legtöbb jellemző esetében tűrhető minőségű ivóvízről beszélünk. Kivételt képeznek a házas amőbák és a nematoda vízminőség jellemzők (korábbi rendeletben fonálférgek), ahol a parametrikus érték a fogyasztói pontokon az ún. nincs szokatlan változás. Ez azt jelenti, hogy az illetékes népegészségügyi hatóság több év mérési adatait feldolgozva állapít meg egyedi határértékeket a településekre. A tűrhető minőség ellenére a víz fogyasztható, azonban a megfelelő beavatkozást az üzemeltetőknek el kell végezniük.

1. táblázat. Mikroszkópos biológiai vízminőség jellemzők és parametrikus értékeik az 5/2023 (I. 12.) Kormányrendelet alapján
Table 1. Characteristics of microscopic biological water quality and their parametric values according to 5/2023 (I. 12.) Government Decree

Vízminőség jellemzők	Parametrikus érték	Egység
Üledék	0,1	ml/liter
Vas- és mangánbaktériumok	$2 \cdot 10^4$	szám/liter
Kénbaktériumok	$2 \cdot 10^4$	szám/liter
Szennyezettséget jelző baktériumok	0	szám/liter
Cianobaktériumok és algák	$5 \cdot 10^3$	szám/liter
Gombák	0	szám/liter
Házas amőbák	nincs szokatlan változás, hálózatra menő vizek esetében 5	szám/liter
Egyéb véglények	0	szám/liter
Nematoda	nincs szokatlan változás, hálózatra menő vizek esetében 5	szám/liter
Egyéb férgek	0	szám/liter
Egyéb gerinctelen szervezetek	0	szám/liter

A mintavételi helyek kijelölése a víziközmű szolgáltató feladata, a mintavételek éves ütemterv szerint, az illetékes hatósági szerv által jóváhagyva történnek, jellemzően a fogyasztói pontokon. A vízszolgáltató a szolgáltatott víz minőségéért a szolgáltatási határpontig felel, így az épületek, házak, lakások stb. belső hálózatának hibái, karbantartása már nem a vízszolgáltató feladata, de természetesen a lakossági panaszok és kezelésük a szolgáltatók fontos feladatai közé tartoznak (Galsi és Bancsiné 2009). A lakossági panaszok többnyire esztétikai problémák miatt jelentkeznek, szín- szag- és ízbeli elváltozásokban,

amelyeknek nem feltétlenül biológiai okai vannak, ugyanis bizonyos kémiai anyagok is pl. vas- és mangán emelkedett szintje okozhatnak ilyen jellegű változásokat. Hazánk vízgyűjtő területeiről pedig ismert, hogy gazdagok vas-, mangán, ammónium és arzén ionokban, amelyek mennyiségét a vízszolgáltatónak a megfelelő vízkezelési technikát alkalmazva csökkenteniük kell (Plutzer és Törökné 2012). Ennek ellenére az utóbbi időben igen népszerűek a házi víztisztító berendezések, amelynek több típusa is elérhető a hazai piacokon. A felhasználók azonban gyakran nincsenek tisztában a kisberendezések kockázataival:

a fogyasztói pontokon is okozhatnak vízminőség romlást, továbbá a hálózatot is szennyezhetik a nem megfelelően karbantartott berendezések (NNGYK 2022).

A Biokör Kft. vizsgálólaboratóriuma önellenőrző laboratóriumként részt vesz hazai települések ivóvizének ellenőrzésében. Jelen munkánk célja egy magyarországi településen bekövetkezett vízszennyezés laboratóriumi vonatkozásainak és egyben a mikroszkópos biológiai vizsgálatok jelentőségének bemutatása, korábbi hazai felméréseket is felhasználva.

MÓDSZEREK

Mintavétel

A mintavételek lakossági bejelentést követően, 2025. január 17-én kezdődtek, több fogyasztói pont kijelölésével. A rendkívüli (éves ütemtervtől eltérő) mintavételezés egy hónapra kesztül, 2025. február 17-ig tartott, összesen 35 minta mikroszkópos biológiai vizsgálatát végeztük el ebben az időszakban. A haváriát követően, március hónaptól a mintavételezések az ütemtervnek megfelelően történtek tovább. A mintavétel során az MSZ EN ISO 19458:2007 és az MSZ 448-36:1985 szabványok utasításait követtük: a vízmintákat (1 L/minta) tiszta, barna üvegedényzetbe vettük, majd hűtőládában szállítottuk (4 °C) a laboratóriumba, a mintafeldolgozást pedig a mintavételt követő 1 órán belül elkezdtük. A mintavételi helyek jellemzőit a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat. Mintavételi helyek jellemzői
Table 2. Characteristics of the sampling sites

Mintavételek dátuma	Ellenőrzött fogyasztói pontok száma	Mintavételi helyek
Havária időszak		
2025. január 17.	1	tűzcsap
2025. január 20.	6	közkifolyók, tűzcsapok, víztorony
2025. január 22.	12	termelő kutak, tározó medence, nyers és tisztított víz, hálózatra menő víz, közkifolyók, víztorony
2025. január 28.	4	közkifolyók, hálózatra menő víz, víztorony
2025. február 10.	2	óvoda, közkifolyók
2025. február 17.	10	termelő kutak, nyers és tisztított víz, tároló medencék, hálózatra menő víz, közkifolyók
Ütemterv szerinti mintavételezés		
2025. március 3.	2	közkifolyó, óvoda
2025. április 8.	2	közkifolyók
2025. május 20.	2	közkifolyó, óvoda
2025. június 12.	3	hálózatra menő víz, közkifolyók
2025. július 7.	2	közkifolyók

Vízminták mikroszkópos biológiai vizsgálata

A vízmintákat (990 ml) 0,45 µm (Millipore, Darmstadt, Germany) pórusátmérőjű, cellulóz-észter filterek segítségével koncentráltuk, a szesztont sejtkaparó segítségével, a maradék 10 ml mintával centrifuga csőbe gyűjtöttük, majd a mintákat 800 g-n 15 percen keresztül centrifugáltuk (Orto Alresa, Microcen). A felülúszót eltávolítottuk és a végtérfogatot 0,1-1 ml közé állítottuk be, az üledék mennyiségétől függően. Homogenizálás után a mintákat fénymikroszkóp segítségével (Nikon, Eclipse 200), 40-400 x-os nagyításokon vizsgáltuk, a kimutatott szervezetek számát 1 liter mintára vonatkoztattuk (MSZ 448-36:1985).

EREDMÉNYEK

Vizsgálataink során fonálférgeket, egyéb férgeket, véglényeket és gerinctelen szervezeteket mutattunk ki: a Kormányrendeletnek megfelelő eredményközlést a 3. táblázat foglalja össze. Az egyes mintavételek között azt tapasztaltuk, hogy a mikroszkopikus szervezetek megjelenése sztochasztikus volt, ugyanis nem minden minta esetében volt jellemző az élőlények megjelenése a hálózatban. Amíg kezdetben csupán néhány fogyasztói pont került ellenőrzésre, az eredmények függvényében a

teljes hálózat ellenőrzése is megtörtént: kezdve a termelő kuktól, a tározó medencéken át, a hálózatra menő vizeken keresztül egészen a végpontokig (2. táblázat).

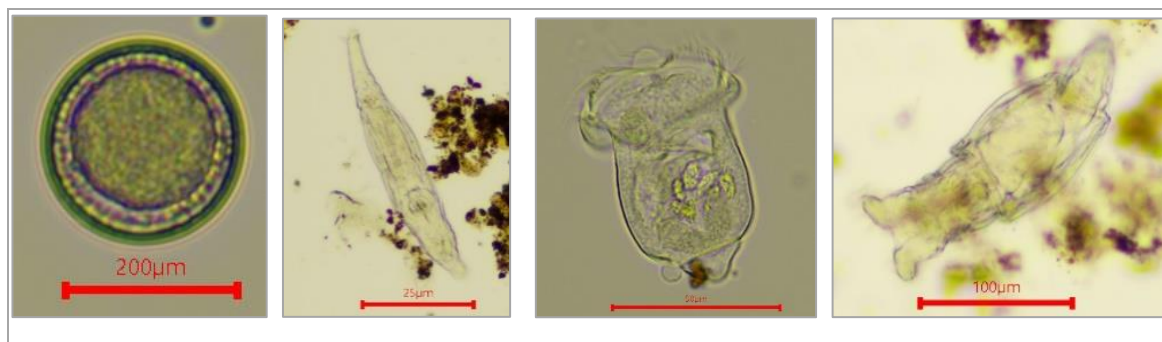
A Kormányrendelet a következők szerint szabályozza az eredményközlést a laboratóriumok számára: „Nematoda” csoportba a szabadon élő mikroszkopikus méretű fonálférgek kifejlett egyedeit kell sorolni, és mivel a peték nem különíthetők el más férgek petéitől, ezért a kimutatott petéket minden esetben az „egyéb férgek” kategóriában kell feltüntetni. Az „egyéb véglények” paraméter a házas amőbák kivételével tartalmazza a szabadon élő egysejtűeket (amőbák, ostorosok, csillósok), míg az „egyéb férgek” a petéken kívül a csillóshasúak (*Gastrotricha*), kerekessérgek (*Rotatoria*), húrférgek (*Nematomorpha*) és gyűrűsférgek (*Annelida*) törzsek képviselőit (beleértve a különböző fejlődési alakokat, szaporodási formákat) jelentik. Az „egyéb gerinctelen szervezetek” vízminőségi kategóriába pedig a medveállatkák (*Tardigrada*), ízeltlábúak (*Arthropoda*) képviselői és minden egyéb, előző vízminőségi jellemzőkhöz nem besorolható többsejtű szervezetet kell sorolni (5/2023 I.12. Kormányrendelet, Bufo-Dörr és társai 2023).

3. táblázat. A vizsgálatok során kimutatott mikroszkopikus szervezetek és a tűrhető minőségű mintavételi helyek a vizsgált időszakban
 Table 3. Microscopic organisms detected during the tests and tolerable quality sampling sites during the tested period

Mintavétel dátuma	Megfelelő/tűrhető minták száma	Mintavételi hely tűrhető vízminőséggel	Kimutatott szervezetek
Havária időszak			
2025. január 17.	0/1	Tűzcsap	Nematoda, egyéb véglények, egyéb gerinctelen szervezetek
2025. január 20.	6/0	-	-
2025. január 22.	6/6	2. sz. tározó medence	Egyéb férgek, egyéb gerinctelen szervezetek
		Közkifolyó 1.	Egyéb férgek, egyéb gerinctelen szervezetek
		Közkifolyó 2.	Egyéb férgek, egyéb gerinctelen szervezetek
		Óvoda közkút	Egyéb gerinctelen szervezetek
		Közkifolyó 3.	Egyéb férgek
		Víztorony	Nematoda, egyéb férgek, egyéb gerinctelen szervezetek
2025. január 28.	4/0	-	-
2025. február 10.	2/0	-	-
2025. február 17.	9/1	Hálózatra menő víz	Egyéb férgek
Ütemterv szerinti mintavételezés			
2025. március 3.	2/0	-	-
2025. április 8.	2/0	-	-
2025. május 20.	2/0	-	Vas- és mangánbaktériumok
2025. június 12.	3/0	-	Vas- és mangánbaktériumok
2025. július 7.	2/0	-	Vas- és mangánbaktériumok

Vizsgálataink során több mintából a féregpeték mellett fonálférgeket (*Nematoda sp.*) és kerekesszemeseket (*Bdelloidea sp.*, *Philodina sp.*, *Brachionus sp.*) mutatunk ki, továbbá több mintavételi ponton jelentek meg ízeltlábú szúnyoglárva (Chironomidae sp.). Protozoa fajok (pl. *Vorticella sp.*, *Paramecium sp.*) a tűzcsapok esetében voltak jellemzők a vízmintákban. A

mikroszkopikus szervezetek megjelenése a fogyasztói pontokon volt megfigyelhető, a termelő kutakban nem, a tározó medencékben (szúnyoglárva) és a hálózatra menő vizek esetében (kerekesszemesek) 1-1 mintavétel során voltak élőlények kimutathatók. A vízmintákból kimutatott szervezetek néhány képviselője az alábbi képeken látható (1-7. képek):

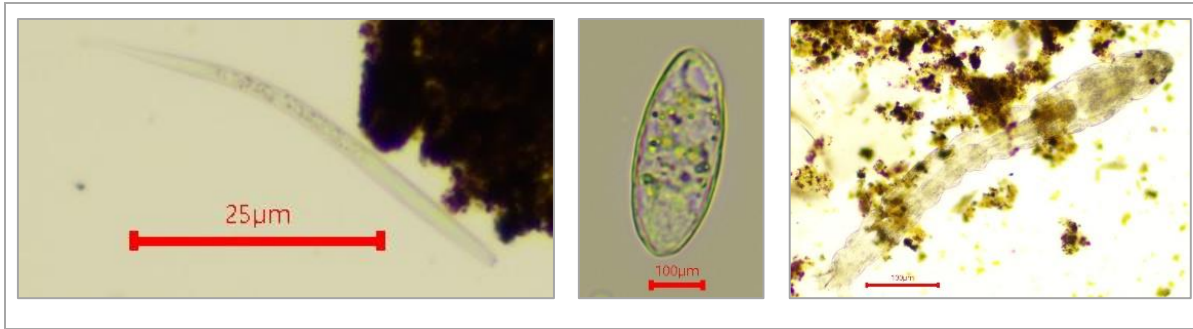


1-4. kép. A vízmintákból kimutatott mikroszkopikus szervezetek (1)

Balról jobbra: 1. kép. Féregpete, 2. kép. *Bdelloidea sp.* (Rotatoria), 3. kép. *Brachionus sp.* (Rotatoria), 4. kép. *Philodina sp.* (Rotatoria)

Images 1-4. Microscopic organisms detected in the samples (1)

From left to right: Image 1. Helminth's egg, Image 2. *Bdelloidea sp.* (Rotatoria), Image 3. *Brachionus sp.* (Rotatoria), Image 4. *Philodina sp.* (Rotatoria)



5-7. kép. A vízmintákból kimutatott mikroszkopikus szervezetek (2)
 Balról jobbra: 5. kép.. Nematoda sp., 6. kép. Protozoa sp., 7. kép. Szúnyoglárva (Chironomidae sp.)
 Images 5-7. Microscopic organisms detected in the samples (2)

From left to right: Image 5. Nematoda sp, Image 6. Protozoa sp., Image 7. Imagemosquito larvae (Chironomidae sp.)

A havária időszakot követően a mintavételi pontok száma az ütemtervnek megfelelően csökkent, az ellenőrzési pontokon csak vas- és mangánbaktériumok voltak kimutathatók, számuk azonban nem haladta meg a Környezetvédelmi miniszter által megadott parametrikus értéket ($2 \cdot 10^4$ /liter).

KÖVETKEZTETÉSEK

A mikroszkopos biológiai vizsgálatok fontos részét képezik az ivóvíz minőségének ellenőrzésében: az élőlények megjelenése a víz minőségében bekövetkezett változás következménye. A vizsgálatok alapja az ökológiában is jól ismert indikáció elve, vagyis az élőlény csoportok jelzik a létrejöttükre és viselkedésükre hatással lévő környezeti tényezőket. Természetesen nem minden környezeti paraméter változásra reagál egyformán egy szervezet, bizonyos tényezőkkel szemben érzékenyebb, míg másokkal szemben kevésbé érzékeny. A hálózati ivóvíz nem mentes az élőlényektől, potenciális élőhelyet biztosít, így a megjelenő szervezetek alapvető információt nyújtanak az ivóvíz minőségének ellenőrzéséhez (Galsi és Bancsiné 2009, Plutzer és Törökné 2012).

A mikroszkopos biológiai vizsgálatoknak számos előnye van: kevés eszközzel elvégezhető a mintavétel és a vizsgálatokhoz nem szükséges időigényes mintaelőkészítés, tenyésztés stb., így a mintavételt követően rövid időn belül eredményt kapunk, amely lakossági panasz, akut szennyezés vagy szennyezés gyanúja esetén döntő fontosságú. További előnye a vizsgálatoknak, hogy az élőlények minőségi és mennyiségi eloszlása nemcsak a mintavétel időpontjában jellemző állapotokat jelzik, hanem következtethetünk azokra a tényezőkre, amelyek megjelenésük, szaporodásuk, hálózati maradásuk feltételei. Mint minden módszernek természetesen a mikroszkopos biológiai vizsgálatoknak is vannak hátrányai: az élőlények megjelenése gyakran sztochasztikus, így az egymást követő mintavételezések különböző eredményeket mutathatnak. A vizsgálatok végzéséhez továbbá a vizsgáló személyzet szakmai felkészültsége is nélkülözhetetlen, hogy a különböző mikroszkopikus indikátorokat felismerje és jellemezni tudja (Galsi és Bancsiné 2009).

Munkánk során a lakossági panaszokat követő kivizsgálások révén végeztünk mintavételezést és laboratóriumi vizsgálatokat egy magyarországi településen, a vízszolgáltatás utasításainak megfelelően: kezdetben a fogyasztói pontokon, majd a teljes hálózatot monitoroztuk, annak ér-

dekében, hogy a fogyasztói pontonok jelzett vízminőségi probléma okait, eredetét felderítsük. A mikroszkopikus élőlények megjelenése a magyarországi ivóvizekben nem újként (Galsi és Bancsiné 2009, Plutzer és Törökné 2012), az önellenőrző vizsgálatok során laboratóriumunk is többször mutatott ki különböző férgeket és férgek petéket, házas amőbákat, vas- és mangánbaktériumokat, egysejtűeket, mint területileg jellemző ivóvízlakó fajokat. A 2025. januárjában bekövetkezett vízszennyezés kivizsgálása a lakossági panaszoknak és a médiafigyelemnek köszönhetően a férgekre fókuszált, holott a laboratóriumban kimutatott élőlények szabad szemmel nem láthatók, a víz-hálózatban szabadon élő szervezetek voltak. A vizsgált időszakban a lakossági panaszokkal ellentétben a mintákból csak 40-400x-os nagyítással, mikroszkóp segítségével látható élőlényeket azonosítottunk.

A mikroszkopikus férgek a vízelosztó rendszerekben hálózati elszennyeződést jeleznek, emelkedett számuk hálózati utószaporodás eredménye a gerincvelőben és/vagy az épületen belüli elosztóhálózatban (Bufa-Dörner és társai 2023). Jelenlétük a vízrendszerekben annak köszönhető, hogy túlélnek és átjutnak a vízkezelés különböző fázisain, testfelépítésüknek köszönhetően: egyszerű, nem szelvényezett testű élőlények, kültakarójuk több rétegből álló erős kutikula, amelynek köszönhetően igen ellenállóak a fertőtlenítőszerrel szemben (Bichai és társai 2008, Galsi és Bancsiné 2009, Plutzer és Törökné 2012). Pangó vizekben előfordulásuk szintén gyakori, mivel ezek a rendszerek táplálékukban (baktériumokban) is gazdagok egyben. Ugyan alapvetően nem betegségkeltő férgek jellemzőek az ivóvíz rendszerekre, a patogén baktériumok (pl. *Salmonella* sp., *Shigella* sp.), vírusok (pl. Coxsackie vírus, echovírus), egysejtűek bekebelezése révén hozzájárulnak azok terjesztéséhez és védelmet biztosítanak számukra a fertőtlenítéssel szemben is (Bichai és társai 2008, Plutzer és Törökné 2012). Fontos azonban megjegyezni, hogy vízzel terjedő betegséget, amely a férgek által hordozott patogéneknek volt köszönhető mindeztáig nem jelentettek (WHO 2025). A férgek túlélését az is segíti, hogy petéik még a kifejlett egyedeknél is nagyobb ellenállóképességgel bírnak (Galsi és Bancsiné 2009, Tahseen 2012), valamint a kifejlett egyedek kedvezőtlen körülmények közé kerülve hosszú nyugalmi állapotba kerülnek (ún. kriptobiózis), amely során lényegében az élőlények a megvastagodott kültakarójukkal köszönhetően betokozódnak, be-

száradnak, majd ismételten kedvező körülmények közé kerülve az életfolyamatok szinte azonnal újra indulnak (Bufa-Dórr és társai 2023, Tahseen 2012).

Vizsgálataink során kimutattunk egysejtű élőlényeket is a vízmintákból: különböző ostoros és csillós fajokat. A szabadon élő protozoák széles körben elterjedtek vizes környezetben, ezáltal nem meglepő, hogy az ivóvíz előállításához alkalmazott vízbázisokban is megtalálhatók. A férgekhez hasonlóan a pangó vizek, biofilmben gazdag rendszerek kedvező körülményeket teremtenek számukra, a rendelkezésre álló bőséges tápanyag mennyiségének köszönhetően. A fogyasztói pontokon való megjelenésük elsősorban hálózati utószaporodás következménye, de jelezhetnek akut talajvíz eredetű szennyeződést, csőtörést, technológiai problémát is (Plutzer és Törökné 2012, Bufa-Dórr és társai 2023). A protozoák további jellemzője, hogy magas hőmérsékletnek és a fertőtlenítésnek is ellenállnak köszönhetően annak, hogy környezeti stressz hatására cisztává alakulnak, melyeket különösen nehéz a szűrőkből, biofilmekből eltávolítani. A szabadon élő szervezetekről az is ismert tény, hogy a férgekhez hasonlóan képesek patogén mikrobákat terjesztetni pl. *Legionella sp.*, *Mycobacterium sp.*, *Salmonella sp.*, *Yersinia sp.*, *Shigella sp.* és *Campylobacter sp.* fajok protozoák általi hálózatban tartásról és védelméről korábbi vizsgálatok rendelkezésünkre állnak (Plutzer és Törökné 2012).

Az ízeltlábúak megjelenése az ivóvízhálózatban jelentős mértékű elszennyeződést feltételez: munkánk során több mintavételi ponton mutattunk ki szúnyoglárvákat (*Chironomidae sp.*), amelyek a külső környezetből, jellemzően a víztározók sérülésének köszönhetően juthatnak be a rendszerbe (Bufa-Dórr és társai 2023). Jelen esettanulmány során is feltételezhetően a víztározók fedelének sérülése okozhatta az ízeltlábúak bekerülését a rendszerbe, jelenlétüket a laboratóriumban nemcsak a fogyasztói pontokon, hanem víztározók és víztorny minták esetében is igazoltuk.

A mintavételi pontok tekintetében vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy tűrhető vízminőség leginkább a tűzcsapok és a közkifolyók esetében voltak megfigyelhetők, a különböző létesítmények pl. iskolák, óvodák, polgármesteri hivatal, víztorony, tárolómedencék stb. esetében 1-1 alkalommal mutattunk ki mikroszkopikus élőlényeket. A mintavételi pontok kiválasztása ezért kulcsfontosságú minden esetben: amennyiben lehetőség van rá, akkor az adott település ivóvíz hálózatát célszerű végig zárt rendszerű fogyasztói pontokon ellenőrizni, kerülve a külső környezet hatásainak kitett tűzcsapokat és közkifolyókat, mivel ezeken a helyeken a szennyeződés gyakran a közvetlen környezetükből származik (5/2023 I.12. Kormányrendelet, Galsi és Bancsiné 2009).

Ha a mikroszkopikus szervezetek csak a fogyasztási ponton mutathatók ki, a hálózat javítása, öblítése, fertőtlenítése, a pangó vizek és a biofilmek megszüntetése szintén a vízszolgáltató feladata, azonban amennyiben a hálózatra menő vizekben is megtalálhatók, akkor technológiai probléma áll a háttérben. A vízkezelés során különböző szűrő rendszereken keresztül halad az ivóvíz a fogyasztók felé, azonban a nem megfelelően karbantartott szűrők és a

nem megfelelően visszamosatott szűrők segítik az élőlények hálózatban tartását és terjesztését (Galsi és Bancsiné 2009, Bufa-Dórr és társai 2023). Ugyanez igaz a lakosság által közkedvelt házi víztisztító berendezésekre is: a nem megfelelően alkalmazott és karbantartott víztisztítók képesek a vezetékes ivóvíz hálózatot elszennyezni (NNGYK 2022). A gyakorlatban alkalmazott kavics- és homokszűrők nem bizonyulnak elég hatékonyak a mikrobák eliminálásában, azonban léteznek korszerű, szűrőtechnikai megoldások pl. nano- és ultraszűrés, amelyek alkalmazása hozzájárul a biológiai szennyezők eltávolításához. Bármely élőlény csoport esetében megállapíthatjuk, hogy a hálózatban történő szaporodásuk megakadályozásához az életfeltételeik korlátozása szükséges, így a szerves anyagok mennyiségének csökkentése, pangó vizek megszüntetése, biofilmek eltávolítása, megfelelő vízkezelési beavatkozások, üledékképződés kialakulásának megakadályozása a célravezető megoldások az ivóvíz minőségének javításához (Bufa-Dórr és társai 2023).

A vízkezelés egyik legkritikusabb pontja a fertőtlenítés, amely jellemzően klórvegyületekkel történik. A Kormányrendelet szerint olyan mennyiségű fertőtlenítőszer adagolható a rendszerbe, amely fenntartja az ivóvíz biológiai biztonságát, azonban a fertőtlenítési melléktermékek a fogyasztót nem veszélyeztetik (5/2023 I.12. Kormányrendelet). Annak ellenére, hogy egyre elterjedtebb alternatív lehetőségek is rendelkezésre állnak (pl. az ózon és az UV-kezelés), ezek lokális megoldást jelentenek, az egész hálózaton nem alkalmazható beavatkozások. A mikroszkopikus szervezetek sajnos a fertőtlenítőszerekkel szemben igencsak ellenállóak, ezért a kimutatott élőlény csoporttól függően fontos a probléma lokalizálása és célzott intézkedések alkalmazása. Például a biofilm eltávolítását szolgáló szivacsos mosatást, célszerű az egész hálózaton elvégezni (Galsi és Bancsiné 2009), különösen egy havária helyzetben a visszafertőződés elkerülése érdekében.

A laboratóriumunk által kimutatott szervezetek alapján a következő következtetéseket tudtuk levonni: a vizsgált település ivóvíz hálózatában bekövetkezett vízminőség romlás kettős problémára vezethető vissza:

1. az egysejtűek és férgek elszaporodását okozhatta a településen is divatos, nem megfelelően karbantartott házi víztisztító berendezések alkalmazása. Ennek felderítése azonban szinte lehetetlen, így a probléma megoldására fókuszálva többszöri hálózatöblítés és fertőtlenítés történt a vízszolgáltató által. Feltehetően a hálózatöblítéseknek volt köszönhető az, hogy a beavatkozásokat követően sztochasztikusan jelentek meg a mikroszkopikus szervezetek, hiszen a leváló élőbevonat részek egy mosatás során a későbbiekben újra problémát okoznak. A mosatások után ezért fontos az alapos átöblítés, a szűrők eltávolítása, amelyekkel a visszafertőződés elkerülhető (Galsi és Bancsiné 2009). Ezt alátámasztja, hogy a szűrők eltávolítását követően nem mutattunk ki élőlényeket a vizsgálataink során.

2. a szúnyoglárvák megjelenése pedig, különösen, hogy a víztározókban is kimutatható volt, a víztározók sérülésére engednek következtetni, amely révén az ízeltlábúak a külső környezetből kerültek a víztározó medencékbe, majd jelentek meg a fogyasztói pontokon is.

Összességében tehát az ivóvízhálózat sérülése és a nem megfelelően karbantartott lakossági ivóvíztisztító berendezések együttesen okozhatták a település vízszennyezését.

A mikroszkópos biológiai vizsgálatok fontosságát egyéb hazai esettanulmányok is alátámasztják és bemutatják azt, hogy milyen területi jellegzetességek találhatók Magyarországon: Galsi és Bancsiné 657 ivóvíz minta vizsgálatát végezte el, 160 magyarországi településről – a vizsgált minták 29%-ában mutattak ki parametrikus értéket meghaladó mikroszkopikus élőlényeket. Az összes vizsgált minta közel felében (48%) találták meg a *Nematoda* képviselőit, továbbá *Bdelloidea* sp. (24%) és *Lecane* sp. kerekessérgek (15%), csillósok (6%) és házas amőbák (5%) okozták a vízminták kifogásoltóságát (Galsi és Bancsiné 2009). Plutzer és Törökné 913 ivóvíz mintát vizsgált hazánk különböző területeiről: a minták 30%-a volt kifogásolt minőségű a mikroszkopikus élőlények miatt. Az ivóvizekben nagyrészt fonálférgeket és kerekessérgeket (58%), protozoákat (41%), vaskbaktériumokat (16%), kénbaktériumokat (13%), gombákat (11%) és algákat (5%) mutattak ki. A leggyakrabban előforduló kerekessérgek a *Chaetonotus* sp., *Lecane* sp., *Philodina* sp., és *Bdelloidea* sp. voltak (Plutzer és Törökné 2012).

Jelen esettanulmányból és a korábbi hazai felmérésekből levonhatjuk azt a következtetést, hogy vannak olyan élőlények, amelyek jellemzően előfordulnak a hazai vizekben, megjelenésük azonban nem állandó, kimutatásuk függ a mintavételi pontoktól, valamint az alkalmazott vízkezelési eljárás sikerességétől. Az okok felderítésével és a probléma megoldásával ezek az élőlények eltávolíthatók a vízrendszerekből vagy legalábbis számuk a Kormányrendeletben megfogalmazott parametrikus értékeken belül tartható.

ÖSSZEFOGLALÁS

Hazánkban az ivóvíz minőségének ellenőrzése a mikroszkópos biológiai vizsgálatokat is magukban foglalják, segítségükkel a hálózatban felmerülő problémákra gyorsan következtethetünk. Munkánk célja egy magyarországi település vízszennyezésének bemutatása volt az általunk végzett laboratóriumi vizsgálatok alapján, továbbá korábbi esettanulmányok segítségével a mikroszkópos biológiai vizsgálatok fontosságának alátámasztása. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a mikroszkópos biológiai vizsgálatokkal jól jellemezhető a vízbázisok/termelő kutak, víztározók és a vízhálózat állapota, hibái. Az indikátor élőlényeket felhasználva ellenőrizhetjük a vízkezelés hatékonyságát, a hálózati utószaporodást, a vízben lejátszódó folyamatokat, másodlagos szennyeződések. A kimutatott élőlény csoportok nemcsak biológiai problémát

jeleznek, hanem a víz minőségét meghatározó egyéb komponenseire is felhívják a figyelmet, így összességében megállapítható, hogy a mikroszkópos biológiai vizsgálatok nélkülözhetetlenek az ivóvizek minősítéséhez.

IRODALOMJEGYZÉK

5/2023 I.12. Kormányrendelet (2023). 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről.

Bichai, F., Payment, P., Barbeau, B., (2008). Protection of waterborne pathogens by higher organisms in drinking water: a review. Can J. Microbiol. 54, pp. 509-524. <https://doi.org/10.1139/W08-039>

Bichai, F., Barbeau, B., Payment, P. (2009). Protection against UV disinfection of E. coli bacteria and B. subtilis spores ingested by C. elegans nematodes. Water Res. 43, pp. 3397-3406.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.05.009>

Bufa-Dórr, Zs., Sebestyén, Á., Izsák, B., Schmoll, O., Pándics, T., Vargha, M. (2023). Dual system of water safety plan auditing in Hungary: benefits and lessons learnt. J. Water & Health (2023) 21 (11): pp. 1663-1675. <https://doi.org/10.2166/wh.2023.130>

Galsi, T., Bancsiné, T.M. (2009). A mikroszkópos biológiai vizsgálatok szerepe és beépítése az ivóvíztermelés minőségbiztosítási rendszerébe. https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/ivoviz_mikroszkopos_vizs.pdf

MSZ EN ISO 19458:2007 Vízminőség. Mintavétel mikrobiológiai vizsgálatokhoz

MSZ 448-36:1985 Ivóvízvizsgálat. Mikroszkopikus biológiai vizsgálat

Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNGYK) (2022). Tájékoztató víztisztító berendezések alkalmazásával kapcsolatban. <https://www.nnk.gov.hu/index.php/kozegegeszegugyi-foosztaly/telepules-egeszsegugyi-klimavaltozas-es-kornyezeti-egeszsegghatas-elemzo-osztaly/temaink/ivoviz/1368-tajekoztatas-viztisztito-berendezesek-alkalmazasaval-kapcsolatban.html>

Plutzer, J., Törökné, A. (2012). Free-living microscopic organisms as indicators of changes in drinking-water quality. Water pract. technol., 7(3). <https://doi.org/10.2166/wpt.2012.050>

Tahseen, Q. (2012). Nematodes in aquatic environments: adaptations and survival strategies. Biodivers. J. 3(1), pp. 13-40.

WHO (2025). Free living nematodes. Background document for the WHO guidelines for drinking-water quality.

SZERZŐ



LIPPAI ANETT okleveles biológus, MSc diplomáját az ELTE Mikrobiológiai Tanszékén szerezte 2012-ben. Phd fokozatot 2023-ban szerzett az ELTE Környezettudományi Doktori Iskola, Környezetbiológia programjában. Kutatási témája: Magyarországi gyógyfürdők mikrobiológiai vizsgálata volt. Jelenleg a Biokör Technológiai és Környezetvédelmi Kft. mikrobiológiai és ökotoxikológiai laboratóriumvezetője, ahol környezeti mikrobiológiai és ökotoxikológiai vizsgálatokat végez, koordinálja a vizsgálólaboratórium tevékenységét. 2015 óta tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.

Per- és polifluoralkil anyagok jelenléte háztartási szennyvizekben és jelentőségük az emberi egészség szempontjából

Györki Gábor^{1,2}, Knisz Judit^{1,2}

¹ Nemzeti Községi Egyetem, Víztudományi Kar, Vízi Környezettudományi Tanszék, 6500 Baja, Bajcsy-Zsilinszky u. 12.-14., (e-mail: gyorki.gabor@uni-nke.hu)

² Víztudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Nemzeti Községi Egyetem Víztudományi Kar, 6500 Baja, Bajcsy-Zsilinszky u. 12-14.

DOI: 10.59258/hk.20298



Kivonat

A per- és polifluoralkil-anyagok (PFA) szintetikus, fluortartalmú vegyületek, amelyek a bennük lévő szén-fluor kötések kivételes stabilitása miatt rendkívül ellenállóak a kémiai reakciókkal és a biodegradációval szemben. Ezen tulajdonságok következtében a PFA vegyületek perzisztens mikroszennyezőként hosszú ideig megmaradnak a környezetben, és világszerte kimutathatók természetes vizekből, ivóvízből, élelmiszerekből és biológiai mintákból is. Előnyös technológiai jellemzőik, alacsony reakciókészségük, valamint hőálló tulajdonságaik miatt széles körben alkalmazzák őket különféle ipari és mindennapi fogyasztási cikkekben. A hagyományos szennyvíztisztító rendszerek azonban nem képesek hatékonyan eltávolítani a PFA-vegyületeket, így azok az emberi tevékenység révén, többek között szennyvizek útján folyamatosan bekerülnek a környezeti körforgásokba, az élővizekbe, sőt, ivóvízforrásokba is. A PFA vegyületek tartós környezeti jelenléte és bioakkumulációs hajlama révén veszélyeztetik az ökoszisztémák működését, továbbá komoly egészségkockázatot is jelentenek, mivel összefüggésbe hozhatók többek között daganatos megbetegedésekkel, fejlődési és szaporodási zavarokkal, és számos további betegséggel. Noha az utóbbi években egyre több kutatás irányult a PFA-k kommunális szennyvizekben való előfordulására, a tisztán háztartásból származó szennyvizek, és a decentralizált, egyedi szennyvíztisztító kisberendezések, továbbra is alulreprezentáltak a vizsgálatokban. E rendszerek PFA-eltávolítási hatékonyságáról, valamint a belőlük származó kibocsátások mennyiségi és minőségi jellemzőiről kevés adat áll rendelkezésre. Mivel ezek az alternatív megoldások világszerte egyre elterjedtebbé válnak, kiemelt kutatási és szabályozási figyelmet igényelnek, főleg a mikroszennyezőket tekintve. Az ilyen rendszerek környezeti hatásának pontosabb megismerése elengedhetetlen a PFA-szennyezés hatékony csökkentéséhez, valamint a közegészségügyi és ökológiai kockázatok mérsékléséhez.

Kulcsszavak

Per- és polifluoralkil anyagok, PFA, szennyvíz, háztartási szennyvíz, egyedi szennyvíztisztító kisberendezés, mikroszennyezők, örök vegyületek, környezetvédelem.

Presence of per- and polyfluoroalkyl substances in domestic wastewater and their public health significance

Abstract

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are synthetic, fluorinated compounds that exhibit exceptional resistance to chemical reactions and biodegradation due to the extraordinary stability of their carbon-fluorine bonds. As a result of these properties, PFAS compounds persist in the environment as persistent micropollutants and can be detected worldwide in natural waters, drinking water, food, and biological samples. Due to their favorable technological characteristics, low reactivity, and thermal resistance, they are widely used in various industrial and everyday consumer products. However, conventional wastewater treatment systems are not capable of effectively removing PFAS compounds, allowing them to continuously enter environmental cycles, surface waters, and even drinking water sources via wastewater and from other human activities. The persistent environmental presence and bioaccumulative potential of PFAS compounds threaten ecosystem functioning and also pose significant health risks, as they have been linked to cancer, developmental and reproductive disorders, and numerous other health problems. Although in recent years an increasing number of studies have focused on the occurrence of PFAS in municipal wastewater, household-originated wastewater and decentralized, individual wastewater treatment units remain underrepresented in such investigations. There is limited data on the PFAS removal efficiency of these systems, as well as on the quantitative and qualitative characteristics of emissions from them. As these alternative solutions are becoming increasingly widespread worldwide, they require prioritized research and regulatory attention, especially regarding micropollutants. A more precise understanding of the environmental impact of such systems is essential for the effective reduction of PFAS contamination and for mitigating public health and ecological risks.

Keywords

Per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS, wastewater, domestic wastewater, onsite wastewater treatment system, micropollutants, forever chemicals, environmental protection.

BEVEZETÉS

A per- és polifluoralkil-anyagok (PFA) csoportját szerves, szintetikus, fluortartalmú vegyületek alkotják, melyeket először az 1940-es években állítottak elő. Felfedezésük óta nagy mennyiségben gyártják és széleskörűen alkalmazzák

e vegyületeket, a kétezres évek elején már a környezetben, vadállatokban, sőt az emberi szervezetben is kimutatták őket mint antropogén szennyezők (*Szabo és társai 2023*). Ezzel egyidőben az EU, az Egyesült Államok és Ausztrália elkezdte szabályozni a PFA-vegyületek gyártását,

csökkenteni a hosszú szénláncú vegyületek felhasználását (Hoang Nhat és társai 2020). A vegyületek előállításának jelentős részéért mindössze néhány cég felel. Ezek a gyártók azt állítják, a PFA-k elengedhetetlenek, alkalmazásuk számos társadalmi és gazdasági előnnyel jár, viszont nem veszik figyelembe a hosszútávú egészségkárosító hatásokat, valamint a szennyezés kezelésének költségeit (Cordner és társai 2021). A kiemelkedően erős szén-fluor kötések eredményeképp a PFA-vegyületek nehezen bomlanak, és többnyire ellenállóak a biodegradációval szemben is (Hoang Nhat és társai 2020). Több ezer vegyület alkotja a PFA-k csoportját, melyeket kémiai szerkezetük-ből adódó nagyfokú perzisztenciájuk miatt „örök vegyületeknek” is neveznek (Brunn és társai 2023). Egyes PFA molekulák rendkívüli stabilitással rendelkeznek, ami meghatározza a jól ismert, és számos iparágban keresett tulajdonságaikat. A gyakorlatban ez főleg a kémiai inertséget, illetve a magas hőmérséklettel szembeni ellenállást jelenti. Ezen sajátosságok teszik a vegyületeket alkalmassá víz-álló, vízlepergető, zsírtaszító és tapadásmentes anyagok, bevonatok előállítására (Berhanu és társai 2023). Széles körben alkalmaznak különböző PFA-kat festékekben, vízlepergető textíliákban, tisztítószerekben és impregnáló szerekben. Előfordulnak továbbá elektronikai eszközökben, kozmetikumokban, élelmiszersomagoló anyagokban, valamint tapadásmentes konyhai eszközökben is (Subedi és társai 2015, Hoang Nhat és társai 2020, Berhanu és társai 2023). Előnyös tulajdonságaik miatt az ipar folyamatosan, nagy mennyiségben állítja elő ezeket az anyagokat (Gobelius és társai 2023), antropogén szennyezőként, a perzisztenciájuk miatt rendkívül nagy környezeti kockázatot jelentenek. A jelenleg alkalmazott szennyvízkezelési technológiák nem képesek hatékonyan eltávolítani a PFA-kat a szennyvízből (Blum és társai 2018), így bármilyen formájú felhasználásuk után kikerülhetnek a környezetbe (Schultz és társai 2006), beléphetnek a természetes körfolyamatokba, például a hidrológiai ciklusba. Vizsgálatok rávilágítottak, hogy már nem csak a szennyvízben és a hulladéklerakókban találhatók meg, hanem a természetes vizekben, ivóvízben, élelmiszerekben is (Hoang Nhat és társai 2020, Berhanu és társai 2023). A több évtizedes széleskörű használat, a perzisztencia, valamint a környezetben való könnyű terjedésük eredményeképp már a Föld minden részén detektálhatóak (Hartz és társai 2024). A PFA vegyületek toxikus hatást gyakorolnak az állatok és az ember szaporodási, fejlődési, immun- és idegrendszerére, továbbá endokrin rendszert károsító anyagokként tartják őket számon (Huang és társai 2022). Összefüggésbe hozták őket többek között daganatos megbetegedésekkel, szervi károsodásokkal (Berhanu és társai 2023), valamint anyagcsere-zavarokkal (Barisci és Suri 2021). Emellett a PFA vegyületek kedvezőtlen hatással vannak a mikroorganizmusok sokféleségére és azok anyagcsere-folyamataira, mind a környezetben, mind pedig a szennyvíztisztítás során (Huang és társai 2022). A PFA vegyületek tehát globálisan elterjedt mikroszennyezők, egy részük perzisztens, bioakkumulatív és toxikus is (Hartz és társai 2024). Az emberi tevékenységek során használt termékek révén, a szennyvizekkel folyamatosan terjednek a környezetben. Az utóbbi években több kutatás

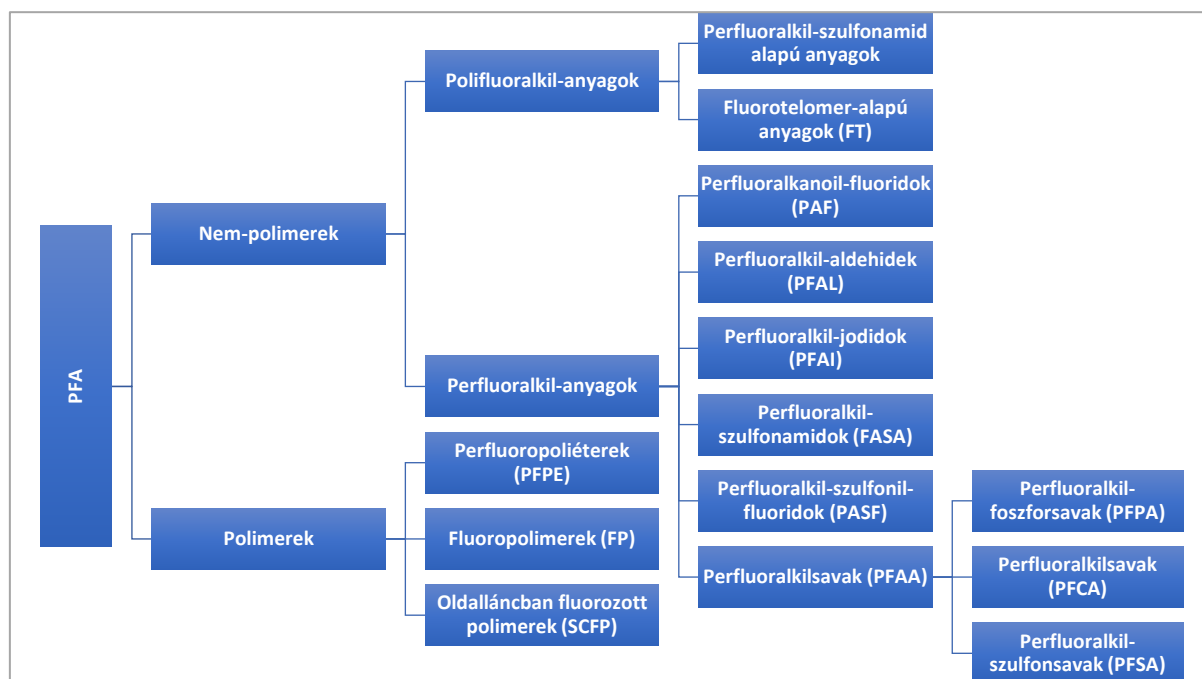
vizsgálta a PFA-k jelenlétét, összetételét és koncentrációját kommunális szennyvizekben, az EU 2024/3019 irányelve pedig 2025. januárjától elő is írja a 10 000 lakos-egyenérték feletti szennyvíztisztítók esetén a PFA-k monitorozását (EU 2025). Rendkívül kevés tanulmány foglalkozik azonban az olyan decentralizált megoldásokkal, mint az egyedi szennyvíztisztító kisberendezések (ESZKB-k), amelyek PFA-eltávolítási hatékonysága többnyire ismeretlen, így a kibocsátásuk mennyiségi és minőségi jellemzőiről is csak korlátozott adatok állnak rendelkezésre. A szennyvíztisztító telepekhez hasonlóan ezek a berendezések sem arra lettek tervezve, hogy a perzisztens mikroszennyezőket eltávolítsák (Blum és társai 2017). Tekintve az egyedi szennyvíztisztítók egyre növekvő népszerűségét (Wang és társai 2021), a háztartási szennyvizek PFA-tartalma és az egyedi rendszerek PFA-eltávolítási képessége is egyre nagyobb jelentőségű lesz mind környezetvédelmi, mind egészségügyi szempontból. Jelen tanulmány célja, hogy átfogó képet adjon a háztartások és egyedi szennyvíztisztítók szempontjából legjelentősebb PFA-k forrásairól, szennyvízbe kerüléséről, továbbá az ezzel kapcsolatos környezeti hatásokról és egészségkockázatokról.

A PER- ÉS POLIFLUORALKIL-ANYAGOK PROBLÉMÁJA

A PFA vegyületek kémiai jellemzői és osztályozása

A PFA molekulák csoportját szerves, szintetikus, fluorotartalmú vegyületek alkotják. A korábbi meghatározás szerint 4730 vegyület tartozott ide (Buck és társai 2021), míg a legújabb, kibővített definíció alapján minden olyan vegyület PFA-nak számít, amely legalább egy telített CF₂- vagy CF₃-csoportot tartalmaz. Ennek következtében a PubChem adatbázisban már több, mint hétmillió különböző PFA molekulát tartanak számon (Schymanski és társai 2023). Az iparilag jelentős vegyületek vázát egy szénlánc (alkil lánc) adja, melyen a hidrogén atomokat részben, vagy teljesen fluor atomok helyettesítik, ezen kívül leggyakrabban tartalmaznak egy funkciós csoportot is (Hoang Nhat és társai 2020). A fluor atomok hatására az alkil lánc kémiai és fizikai tulajdonságai jelentősen megváltoznak, az kompaktabb és sűrűbb, valamint erősen hidrofób lesz (EPA 2025). A szén-fluor kötés az egyik legerősebb szerves kötés, akár 536 kJ/mol erősségű is lehet (Hoang Nhat és társai 2020). A kötési energiának és az alacsony polaritásnak köszönhetően ezek a vegyületek kémiai és biológiai szempontból is nehezen bonthatók, ellenállnak a kémiai támadásoknak (Berhanu és társai 2023).

A két leggyakrabban kutatott vegyület a perfluoroktánsav (PFOS) és a perfluoroktánszulfonsav (PFOA), melyeket hagyományos PFA-knak nevezünk (legacy PFAS). E két vegyület gyártását betiltották a Stockholmi Egyezményen (Stockholm 2004). Az ezeket kiváltó vegyületeket helyettesítő PFA-knak (replacement PFAS) nevezzük, míg az újonnan alkalmazott vegyületek szélesebb csoportját új PFA-knak (emerging PFAS) (Berhanu és társai 2023). A számos ismert molekula közül napjainkban az egyszerűbb, rövidebb szénláncúak bírnak a legnagyobb ipari jelentőséggel (Hoang Nhat és társai 2020), de több különböző csoportot különböztetünk meg, melyeket az iparágak felhasználnak (1. ábra).



1. ábra. A PFA vegyületek csoportosítása (Györki szerkesztése Teymourian és társai 2021 alapján)
 Figure 1. Classification of PFAS (Edited by Györki, based on Teymourian et al. 2021)

A PFA-szennyezés forrásai és globális elterjedése

A globális PFA-gyártás és felhasználás a különféle vegyületek elterjedését okozta világszerte. A termelési volument tekintve évente több, mint ezer tonnát állítanak elő összesen (Evich és társai 2022), melynek jelentős részét mindennapi termékek előállítására használják. Egy 2023-as kutatás 107 különböző PFA-t azonosított háztartásokban alkalmazott fogyasztási cikkek 15 kategóriájában (Dewapriya és társai 2023). A szabályozások ellenére néhány PFA vegyület használatát nem lehet nullára csökkenteni. Példaként említve, PFA vegyületek használata engedélyezett habbal oltó készülékek gyártása során. Néhány fluoropolimer olyan előnyös, és adott iparágak számára elengedhetetlen tulajdonságokkal rendelkezik, melyeket a helyettesítő molekulák nem képesek nyújtani (Ameduri 2023). Gyártási folyamatok során akaratlanul is kerülhetnek PFA vegyületek a termékekbe (Dewapriya és társai 2023), így nehéz pontosan követni azok elterjedését. Kutatások bizonyították, hogy a legtöbb termék csomagolásán nincsenek feltüntetve a PFA vegyületek mint összetevők (Rodgers és társai 2022), így környezettudatos és egészségtudatos életmód mellett is nehéz elkerülni ezeket. A tiltott vegyületeket eredetileg nem tartalmazó politetrafluoretilén (PTFE) konyhai eszközökből a használat során, magas hőmérséklet és savas közeg hatására PFOA, PFOS, és más perfluorozott vegyületek oldódhatnak ki (Abulfadl és társai 2019), mely megnehezíti a bizonyítottan káros vegyületek kontrollálását. A szabályozást tovább nehezíti, hogy amikor bizonyos PFA vegyületeket betiltanak, az iparágak gyakran olyan alternatív PFA-kkal helyettesítik őket, melyek hasonló környezeti és egészségkockázatokkal jelennek meg, de még nem vonatkozik rájuk szabályozás. Ez a „sajnálatos helyettesítésnek” is nevezett gyakorlat aláássa az egyedi vegyületekre vonatkozó szabályozások hatékonyságát (Kwiatkowski és társai 2020), a legújabb tanulmányok így hangsúlyozzák egy stratégiai megközelítés szükségességét a PFA vegyületektől való átállás-

hoz, elkerülve a nem feltétlenül szükséges helyettesítéseket (Brunn és társai 2023). Jelentős problémákat vethet fel, hogy a PFA vegyületek különböző kémiai és biológiai útvonalakon keresztül átalakulhatnak egymásba. A PFA vegyületek egy része átalakulhat a környezetben, ezek a kevésbé stabil vegyületek prekursorai lehetnek a perzisztensebb PFA formáknak, így a perzisztens vegyületek még további gyártás hiányában is folyamatosan újratermelődhetnek (Evich és társai 2022). Több fajban is azonosítottak metabolikus útvonalakat, amellyel a szervezet a számára idegen és potenciálisan toxikus vegyületeket próbálja kevésbé toxikus vegyületekre bontani, tehát biotranszformációk során is keletkezhetnek említett, perzisztens PFA-k (Kolanczyk és társai 2023). A szennyvízkezelési folyamatok befolyásolhatják a PFA-profilokat a szennyvízben és szennyvíziszapban, így olyan vegyületek is jelen lehetnek a tisztítási lépésekből távozó mátrixokban, amik eredetileg nem voltak jelen, beleértve a szabályozott molekulákat is (O'Connor és társai 2022).

A PFA-szennyezés napjainkra világméretű problémává vált. A folyamatos PFA kibocsátás és a nem megfelelő tisztítási eljárások eredményeképp (Wee és Aris 2023) a PFA-k megtalálhatók a Föld szféráiban, mindenütt jelenlévő környezeti szennyezőkké váltak, a hidrológiai ciklus minden pontján azonosíthatók. A vízkörforgásban jelen vannak a szennyvíztől kezdve a természetes vizeken át az ivóvízig, a PFA vegyületek összesített koncentrációja a felszíni és felszín alatti vizekben jellemzően 1 ppt-től 1 ppb-ig terjed. Az ipari fejlettségtől függetlenül minden kontinensen kimutatták a PFA-k jelenlétét, a potenciális forrásoktól távol is megtalálhatók, mely nagy távolságú légköri transzportra utal (Kurwadkar és társai 2022). Változatosságukat elősegíti a korábban ismertetett részleges kémiai (Evich és társai 2022) és ritka biológiai bomlás (O'Connor és társai 2022). Olyan, közösségektől távoli és elszigetelt területeken is megtalálhatók, mint az Északi

Sarkkör jégapokái (Hartz és társai 2024), sőt, ma már az emberek nagy részének a véréből is kimutathatóak (Fischer és társai 2024).

A PER- ÉS POLIFLUORALKIL-ANYAGOK FORRÁSAI

Ipari és mezőgazdasági szennyvizek

A különböző PFA vegyületeket előállító kémiai ipar az elsődleges forrása lehet a környezeti PFA-szennyezésnek, amennyiben azok szennyvizét nem tisztítják meg teljesen (Zhou és társai 2024).

A feldolgozóiparban csak felhasználják a PFA-kat mint alapanyag, adalékanyag, vagy segédanyag reakciók során, ezen kívül az alkalmazott kenőanyagok és ipari felületaktív anyagok is tartalmazhatnak ilyen vegyületeket (Wang és társai 2017). A PFA vegyületeket alkalmazó iparágak közül a legfontosabbak a fluorotelomer-alkoholokat (FTOH) alkalmazó kémiai ipar, a perfluoropolietereket (PFPE) alkalmazó élelmiszeripar, a perfluoralkil-szulfonsavakat (PFSA) és PTFE-t használó energiaszektor, továbbá az elektronikai ipar, építőipar és gyógyszeripar. Számos, modern eszközöket gyártó, illetve modern szolgáltatásokat nyújtó iparágban is kulcsszerepet töltenek be ezek a vegyületek, ilyenek például az űrkutatás, az atomenergia-szektor, a félvezetőipar, valamint a gyógyászati segédeszközök gyártása (Gluge és társai 2020). A PFOS és PFOA kivételük ellenére még mindig a leggyakrabban vizsgált és hivatkozott vegyületek közé tartoznak. Ezen kívül jelenleg a perfluoralkilszulfonsavak, a perfluoralkilszulfonil fluoridok, a perfluoralkilsavak, fluoropolimer, fluorotelomerek, fluorozott szénhidrogének, és hidrokloro-fluorolefinek a legjelentősebb vegyületek és vegyületcsoportok az iparban (Berhanu és társai 2023), de számos más, rövid szénláncú PFA-t is nagy mennyiségben állítanak elő (Hoang Nhat és társai 2020). Számos PFA vegyület annyira fontos a modern ipar számára, hogy azokat jelenleg úgy tűnik, nem lehet kiváltani. Jelentős probléma a korábban már ismertetett „sajnálatos helyettesítés”, illetve a PFA vegyületek akaratlanul a kész termékekbe kerülése is (Kwiatkowski és társai 2020, Dewapriya és társai 2023).

Az ipari forrásokhoz hasonlóan a mezőgazdasági tevékenységek is különböző PFA vegyületeket juttathatnak a környezetbe. A legjelentősebb források a PFA-kat tartalmazó kezelt szennyvíziszap trágyázásra való felhasználása, illetve ezzel párhuzamosan a szennyvízöntözés (Zhou és társai 2024). A korábban említett iparágak által kibocsátott PFA vegyületek által szennyezett öntözővíz szintén felhasználásra kerülhet a mezőgazdaságban (Zhou és társai 2024). Földműveléshez használt műanyag takarófóliákból, melegházak alapanyagából a vízbe és közvetlenül a földbe, valamint öntözéshez használt műanyag eszközökből az öntözővízbe kerülhetnek különböző vegyületek (Zhou és társai 2024). További jelentős forrás a PFA vegyületeket aktív vagy inert összetevőként tartalmazó peszticidek (Costello és Lee 2020). A felsorolt mezőgazdasági tevékenységek során közvetlenül a környezetbe, közvetetten pedig az élelmiszerekbe és ivóvizekbe juthatnak a PFA-k, melyek így bekerülnek a korábban említett körforgásba (Sepulvado és társai 2011), először a háztartásba, majd a szennyvizekkel vissza a környezetbe és termőföldekre.

Háztartási szennyvizek

A lakossági szennyvíz szempontjából a legfontosabbak az egyéni háztartásokból kikerülő, gyakran eltérő PFA összetétellel rendelkező szennyvizek. A háztartásból származó szennyvizek összetételét a fogyasztási cikkek és használati tárgyak PFA-tartalma jellemzi (Schultz és társai 2006). Egy átfogó kutatás 107 különböző PFA vegyületet azonosított összesen 1040 fogyasztási cikkben, 15 különböző termék kategórián belül (1. táblázat). A legmagasabb koncentrációkat habbal oltó készülékek esetén mérték, ezt követték a textilápoló szerek és a háztartási vegyszerek. Összetételt tekintve a ruházati és lakástextiliák a legváltozatosabbak, melyek esetén 72 különböző vegyületet detektáltak (Dewapriya és társai 2023). A termékcsoportok között elkülöníthetők magas átlagos koncentrációjúak, ilyenek például a habbal oltó készülékek, textilápoló anyagok és vegyszerek, melyekben a PFA-k központi szerepet játszanak filmképzőként és vízlepergetőként. Alacsony átlagos koncentrációjú termékcsoportok közé tartoznak az élelmiszer-csomagolóanyagok, műanyagok és elektronikai termékek, melyekben a PFAS-ok főként vékony bevonatként vannak jelen. Az élelmiszer-csomagolóanyagok 0,51 ppm-es átlagos értéke arra utal, hogy a PFAS-tartalom felületi bevonatokból vagy szennyezésből származik, nem pedig tömegalkotó anyagként van jelen.

Egyes csoportokon belül a minimális és maximális koncentrációk között akár milliós nagyságrendű eltérés is előfordulhat, ami a termékek jelentős változatosságára vezethető vissza, és magyarázható a gyártási különbségekkel, valamint az eltérő formulációs célokkal. Az egyedi szennyvíztisztító kisberendezésekbe közvetlen módon csak olyan termékekből kerülnek PFA-k, melyek a mindennapi élet során a háztartások lefolyóiba kerülnek. Ez alapján bár az építőanyagok, festékek, olajok és habbal oltó készülékek jelentős PFA-forrásként szolgálhatnak, a kisberendezések esetén általánosan véve nincs relevanciájuk.

PFA-k találhatók még többek között bőrkezelő-szerekben, impregnáló szerekben, tapadásmentes konyhai edényekben (Hoang Nhat és társai 2020), esernyők, sátrak, táskák, és további szabadidős tevékenységekhez használatos tárgyak alapanyagában, számos különböző vízlepergető és zsírtaszító csomagolóanyagban, pizzás dobozok és popcorn-zacsok alapanyagában (Teymourian és társai 2021). További kutatások rámutattak, hogy meglepő módon egyes toalettpapírokban (Thompson és társai 2023), és fogselymekben is megtalálhatók PFA-k (Boronow és társai 2019). További aggályokat vet fel, hogy a termékekben leggyakrabban nincs feltüntetve, ha azok PFA-kat tartalmaznak (Rodgers és társai 2022). Fogyasztási cikkekben kívül az élelmiszerek és az ivóvíz is tartalmazhat PFA vegyületeket, melyek szintén hozzájárulnak a háztartási szennyvíz PFA-tartalmához. Az ivóvizekben jellemzően a felszíni vizekhez hasonló, vegyületenként 0,1 ppt és 1 ppt közötti koncentrációk mérhetők, viszont az országok között jelentős különbségek vannak, az Egyesült Államokban 100 ppt feletti koncentrációkat is mértek 2017-ben. A jelenlegi ivóvíztisztító létesítmények kevésbé hatékonyak a PFA-k eltávolítását tekintve. A homokszűrés, derítés és ülepítés alacsony hatékonyságúak, de az újabban használt aktív szén adszorbensek is csak a hosszabb szénláncú ve-

gyületeket képesek megkötni. A membránszűrés hatékony alternatíva lehet, viszont magas költségekkel járhat, a vízszatartott anyagokat pedig ártalmatlanítani kell (*Hoang Nhat és társai 2020, Berhanu és társai 2023*). Abban az esetben, ha a háztartások szennyvizét egyedi szennyvíztisztító kisberendezések kezelik, az elfolyó szennyvíz leggyakrabban a föld felszíne alatt kerül elszikkasztásra. Mivel az ilyen kisberendezések nem a PFA-khoz hasonló mikro-szennyezők eltávolítására lettek tervezve (*Blum és társai*

2017), az elfolyó szennyvíz tartalmazhat a háztartásra jellemző összetételű és mennyiségű PFA vegyületeket. Különösen nagy kockázatot jelenthet továbbá, ha a szennyvizet öntözésre, illetve a szennyvíziszapot trágyázásra használják fel, ezek a gyakorlatok tovább növelhetik az expozíciót. Ásott kutak esetén a lokálisan környezetbe jutott PFA-k rövid időn belül visszakerülhetnek az ivóvízbe is, még a mélyebben fekvő víztartó rétegekből is (*Kurwadkar és társai 2022*).

1. táblázat. Különböző termékekben detektálható PFA típusok és koncentrációk (*Dewapriya és társai 2023*)

Table 1. PFAS types and concentrations in consumer products (*Dewapriya és társai 2023*)

TERMÉK-KATEGÓRIA	DETEKTÁLT PFA-K SZÁMA	ÖSSZES PFA KONCENTRÁCIÓ [PPM]		
		MINIMUM	MAXIMUM	ÁTLAG
Építőanyagok	62	0,0001	4300,28	79,18
Kozmetikumok	50	0,0020	2425,08	58,21
Textilápoló anyagok	13	2,9200	1370,00	302,92
Habbal oltó készülékek	21	0,1000	1031,30	488,51
Háztartási vegyszerek	30	0,0005	949,60	208,08
Viaszok, fényezőszerek	24	0,0020	423,40	21,85
Olajok, kenőanyagok	33	0,0020	396,00	121,05
Festékek	33	0,0020	396,00	121,05
Textíliák	72	0,0001	295,20	2,48
Élelmiszer-csomagolóanyagok	41	0,0001	25,20	0,51
Peszticidek	2	0,2200	19,20	12,36
Állateledel-csomagolóanyagok	10	0,2100	5,63	2,42
Műanyagok	22	0,0001	2,61	0,19
Elektronika	9	0,0009	0,90	0,66
Tisztálkodási szerek	9	0,0009	0,29	0,66

A PER- ÉS POLIFLUORALKIL-ANYAGOK JELENLÉTE ÉS KONCENTRÁCIÓJA A SZENNYVÍZBEN

Szennyvíztisztító telepek

A települési szennyvíztisztító telepeket (WWTP) kiszolgáló szennyvízhálózatok különböző típusú forrásokból fogadnak szennyvizet, beleértve a háztartási szennyvizet, ipari szennyvizet és csapadékvizet. Ebből adódóan a telepre érkező szennyvíz a felsoroltak keveréke (*Gobelius és társai 2023, Szabo és társai 2023*), így többek között a PFA-profilok keverednek, a beérkező szennyvíz bár nem homogén, az esetleges kiugró értékek megszűnnek. A különböző forrásokból származó szennyvizek egyenetlen összetételét jól mutatja az óránkénti mérések által szolgáltatott jelentős PFA-koncentrációk variabilitása. A beérkező vegyületek két csoportra oszthatók, az egyik csoport a hétköznapiakon, a másik csoport a hétfélegén koncentrálik, feltehetőleg az ipari tevékenységek-ből és azok hiányából adódóan (*Szabo és társai 2023*).

A szennyvizekben főleg rövid szénláncú PFA-k azonosíthatók (*Gobelius és társai 2023*). Egy 9 telepet vizsgáló kutatás alapján a befolyó szennyvízben a leggyakoribb és legnagyobb koncentrációjú PFA vegyületek közé tartozik a PFOS, PFOA, PFPeA (Perfluoropentánsav), PFHxA (Perfluorhexánsav), PFBS (Perfluorobutánszulfonsav) és PFBA (Perfluorobutánsav), jellemzően 1 és 10 ppt közötti nagyságrendekben. A mért PFA-k összes koncentrációja 39,9 és 90,8 ppt között mozgott (*Kim és társai 2024*). PFA vegyületekkel erősen szennyezett területekről, például

ipari területekről, tűzoltó kiképző létesítményektől, vagy hulladéklerakóktól csapadékvizet fogadó szennyvíztisztító telepeken rendkívül magas, 220 ppt PFOS koncentrációt is mértek. A 6:2 fluorotelomer-szulfonsav (6:2 FTSA) is esetenként jelentősen magas koncentrációban van jelen a szennyvizekben (*Gobelius és társai 2023*). Számos más PFA-vegyületet lehet azonosítani a szennyvizekben, viszont a célzott analízis rendkívüli költségekkel járhat, így esetenként az extrahálható szerves fluor (EOF) mennyiségét mérik, melynek viszont csak egy részét teszik ki a PFA-k, jelentős része a fluortartalmú gyógyszerekből származik (*Szabo és társai 2023*). A koncentrációk rendkívül széles tartományban mozoghatnak különböző telepek és mintavételi időpontok között.

A biológiai szennyvíztisztításban résztvevő mikroorganizmusok többnyire nem képesek lebontani a PFA-kat, így a telepek eltávolítási hatékonysága általában alacsony (*Gobelius és társai 2023*). Az eltávolítás hatásfoka egyedi PFA-kra nézve rendkívül változó, a 78%-os eltávolítástól a koncentráció növekedéséig terjed (*Gobelius és társai 2023*), az EOF eltávolítás pedig 25% alatti (*Szabo és társai 2023*). A kutatások jelentős variabilitásról számoltak be, míg egyes vegyületek koncentrációja csökken a tisztítás során, másoké nő. Ez valószínűleg a vegyületek átalakulásának és rövidebb szénláncú formákra való bomlásának az eredménye (*Kim és társai 2024*), de az iszaphoz való kötődés is befolyásolhatja az eredményeket (*Gobelius és társai 2023*). A vizes fázis és szilárd szemcséhez való kötődés aránya vegyületenként eltérő, a pH-n, szerves és

szervetlen vegyületek jelenlétén kívül számos faktortól függhet (Kumar és társai 2023). A rövid szénláncú PFA-k főleg a vizes fázisban, a hosszabb szénláncúak pedig az iszaphoz kötődve mozognak (Kumar és társai 2023), bár a mérési eredmények között vannak ennek ellentmondó értékek is. Általánosan elmondható, hogy az iszapban koncentrálódik a PFA-k jelentős része, az iszaprecirkuláció pedig folyamatosan magas PFA-koncentrációkat okozhat a telepek működése során (Gobelius és társai 2023).

Egyedi szennyvíztisztító kisberendezések

Az egyedi szennyvíztisztító kisberendezések olyan decentralizált szennyvíztisztítási megoldások, melyeket főleg akkor telepítenek, ha a központosított szennyvízkezelés nem elérhető, vagy ha az ehhez való csatlakozás fizikailag nem megoldható, illetve irreálisan magas költségekkel járna (Libralato és társai 2012). Mivel ezek a berendezések egyéni források szennyvizét kezelik, jelentős különbségek lehetnek azok összetételében (Gros és társai 2017, Szabo és társai 2023), mely a PFA-tartalmú fogyasztási cikkek és termékek eltérő használatából ered (Schultz és társai 2006).

Az egyedi szennyvíztisztítók változatosak lehetnek mind technológia, mind kapacitás szempontjából. A leggyakoribb rendszerek közé tartoznak az egyszerű, olcsó, régóta ismert oldómedencék, melyekben az ülephető fázis a fenékre süllyed, idővel pedig rothadásnak indul, míg a feloldódó szerves anyagok részben lebomlanak. A modernebb megoldások közül jelenleg az eleveniszapos kisberendezések a legnépszerűbbek, melyeknél egy levegőztetett térben nagyfokú aerob bomlás történik, majd egy ülephetőben megtörténik a fázisszétválasztás, a tisztított víz pedig távozik a rendszerből. A 90-es évektől megjelentek az SBR (Sequencing Batch Reactor) rendszerű kisberendezések is, melyek jobban ellenállnak a szennyvízhozam ingadozásának. A piacon megtalálhatók még csepegtetőtestes kisberendezések is, ezek esetében egy természetes vagy mesterséges hordozó felületén képződő biofilm végzi az aerob biológiai tisztítást. A membrán bioreaktor az eleveniszapos technológia és a membránszűrés ötvözte, az utóülephető helyett a hatékonyabb elválasztást egy membránszűrő biztosítja. Ismertek továbbá az önállóan ritkán alkalmazott úgynevezett természetközeli megoldások, ahol a biológiai tisztítást talajszemcsékhez, növények gyökerehez kötődő, vagy vízben lebegő mikrobák végzik (Karches 2020). A felsorolt rendszerek különböző hatékonysággal, más-más előnyökkel és hátrányokkal rendelkeznek, így a célnak megfelelően lehet kiválasztani a legjobb technológiát (Libralato és társai 2012).

A szennyvíztisztító telepekhez hasonlóan az egyedi szennyvíztisztítóknál is jelentős variabilitás tapasztalható a PFA-összetétel tekintetében, viszont rendkívül kevés forrás foglalkozik kis kapacitású berendezésekkel. Egy tanulmány alapján ezekben a berendezésekben többek között 6-9 szénatom hosszúságú perfluoralkil-karbonsavak és 6-8 szénatom hosszúságú PFSA-k detektálhatók, az összes PFA-koncentráció nagy részét a PFOS, PFHxA, PFHpA (Perfluorheptánsav) és PFBS vegyületek teszik ki. Egy 2025-ös kutatásban a 70 vizsgált PFA vegyületből 27-et azonosítottak emésztőgödörökben, a PFOS és PFBA a minták kétharmadában jelen voltak. A telepekhez

hasonlóan főleg rövid szénláncú vegyületeket detektáltak, és általánosan véve többféle karbonsav volt jelen, mint szulfonsav. A diPAP (dialkil-perfluoralkil-foszfát) vegyületeket szintén detektálták, melyek gyakoriak a papír- és textil-alapú fogyasztási cikkekben (Penrose és társai 2025). Az egyedi PFA-koncentrációk 1 és 27 ppt között voltak befolyó szennyvizek esetén, míg elfolyó szennyvizeknél ennél alacsonyabb, 0,27-7,5 ppt koncentrációkat mértek. Összes PFA-t tekintve ez 54-185 ppt a befolyó, 35-112 ppt az elfolyó szennyvízben, mely nagyságrendileg megegyezik a szennyvíztisztító telepekkel (Gros és társai 2017). Az emésztőgödörökben általában magasabb koncentrációk mérhetők, mely a hosszabb tartózkodási időre vezethető vissza (Penrose és társai 2025).

Eltávolítási hatékonyságot tekintve jelentős különbségeket mértek az olyan egyedi megoldások között, mint az oldómedencék, szikkasztómezők, forrás-szeparált rendszerek és konténeres szennyvíztisztítók, általánosan 70%-os eltávolítástól kezdve a prekursor-vegyületek oxidáció során történő átalakulása miatti „negatív” eltávolításig. Az alacsony számú célzott kutatás és az eredmények jelentős szórása ellenére az a tapasztalat, hogy a modernebb, biológiai tisztítást is alkalmazó többlépcsős berendezések, mint például a konténeres szennyvíztisztítók, jobb PFA-eltávolítást biztosítanak (Gros és társai 2017, Penrose és társai 2025). Az emésztőgödörök esetében a PFA-k, és az új szennyezők (Contaminants of Emerging Concern, CEC) többi csoportja között ellentét mutatkozik, a jobb CEC-eltávolításhoz alacsonyabb PFA-eltávolítás társult (Glassmeyer és társai 2022). Kisberendezések esetén a PFA-k szempontjából nem vizsgáltak utókezelési módszereket, de a nagy kapacitású szennyvíztisztító telepek vizsgálata azt mutatta, hogy a fejlett harmadlagos kezelések (aktív szén szűrés, ózonozás, ultraszűrés) sem képesek a PFA-kat hatékonyan eltávolítani. A kapacitás és a PFA-eltávolítás hatékonysága között nem találtak összefüggést (Ruyle és társai 2025). A különböző technológiák megfelelő összehasonlításához és messzemenő következtetések levonásához nagy számú, egységesített kutatásra lenne szükség.

EGÉSZSÉGHATÁSOK ÉS KOCKÁZATOK

Emberi egészségre kifejtett hatások

A PFA vegyületek széleskörűen elterjedtek, szerkezetükből adódóan pedig ellenállnak a degradációnak és könnyen akumulálódnak az élő szervezetekben. A hagyományos PFA vegyületeket egyre gyakrabban azonosítják ivóvízben, és élelmiszerekben, melyek a fő expozíciós útvonalakat jelentik az emberek számára. A kétezres évek elején végzett adatgyűjtés alapján az Egyesült Államokban a felnőttek 98%-ának vérében már megtalálhatók voltak a hagyományos PFA-k (Roth és társai 2020).

A PFA-k szintetikus vegyületek, xenobiotikumok, így nem illenek bele az élőlények anyagsere-útvonalába (Jiang és társai 2015). Ellenállnak szinte minden enzim bontásnak, így a metabolizmus során nem bomlanak más vegyületekre, nem képeznek származékokat. Az eliminációs felezési idők rendkívül magasak, számítások alapján PFOA esetén 4, PFOS esetén 5, PFHxS esetén pedig akár 8,5 év is lehet (Olsen és Zobel 2007).

Kémiai stabilitásuk ellenére képesek különböző fehérjékhez kötődni, például a humán szérumalbuminhoz, valamint olyan májban található zsírsav-kötő fehérjékhez, amelyek a savas funkciók csoportokat tartalmazó PFA-vegyületekre szerkezetileg hasonlító zsírsavakat szállítanak. A testben így különféle szerveket érhetnek el, akumulálódnak a vérben, a májban és a vesében (Lu és társai 2023). A metabolikus folyamatok befolyásolásán keresztül biokémiai és fiziológiai változásokat okozhatnak, így egyes PFA vegyületek toxikus hatást fejtenek ki az állatok és emberek szaporító szervrendszerére, fejlődésére, továbbá immunrendszerére, hormonrendszerére és idegrendszerére (Jiang és társai 2015, Huang és társai 2022). Számos más betegséggel és egészségügyi problémával is kapcsolatba hozták a PFA-kat, többek között különféle daganatos megbetegedésekkel, vetéléssel, kóros elhízással, májkárosodással, és magas vérnyomással (Berhanu és társai 2023). A PFOA-t összefüggésbe hozták a vese-, hasnyálmirigy-, here-, és májrákkal, ezen felül bizonyították, hogy pozitív összefüggés van a vérérum magas PFOA-koncentrációja és a veserák, valamint hererák valószínűsége között (Vieira és társai 2013), továbbá befolyásolja a lipid és glükóz metabolizmust is (Barisci és Suri 2021). Patkányokban végzett kísérletek során azt találták, hogy a PFA-expozíció dóziszfüggő válaszokat fejt ki az anyagcserére. Az EPA 2016-os ajánlásai szerint még nem számított egészségkárosítónak a 70 ppt alatti összes PFA-koncentráció, azonban friss vizsgálatok alapján már 10 ppt PFOS, PFOA, vagy PFBA koncentrációjú ivóvíz 14 napos fogyasztása is értékelhetően megváltoztatta a hormonrendszer működését, ezek keverékének hatása pedig additív volt a vizsgálatok során. Az ivóvizekben mért összes PFA koncentrációja gyakran eléri ezt a nagyságrendet. A szaporító szervrendszerre gyakorolt negatív hatások már nanomoláris koncentrációknál is megfigyelhető, amelyek megközelítik a környezetben mért PFA-koncentrációkat (Daugherty és társai 2023).

Az elmúlt években több régióban is csökkenő tendenciát figyeltek meg a hagyományos PFA-vegyületek emberi szervezetben mért koncentrációjában, mely a vegyületek változó arányú felhasználására vezethető vissza. Ugyanakkor ezeket egyre gyakrabban helyettesítik új, hasonló vegyületekkel, amelyekről azonban még kevés információ áll rendelkezésre (Lu és társai 2023).

Környezeti hatások

A PFA-k jelen vannak a természetes vizekben, az atmoszférában, valamint a talajban is raktározódhatnak, mivel a talajszemcsék képesek megkötni néhány PFA-t, így is hozzájárulva a stabil környezeti jelenlétéhez. A vizekben és talajban való előfordulás eredményeképp az ezeket felvenni képes növényeknek folyamatos forrásuk van. Különböző növényekben, gyümölcsökben, zöldségekben és gabonafélékben is kimutathatók különböző PFA-vegyületek (Xu és társai 2022). Ezeket az anyagokat főként a gyökerek abszorbeálják a talajból, a hosszú szénláncú PFA-k ($C \geq 7$ karbonsavak és $C \geq 6$ szulfonsavak esetén) elsősorban a gyökerek szöveteiben maradnak, míg a rövid láncú PFA-k a földfelszín felett akumulálódnak. Növényen belül általában a gyökér tartalmazza a legtöbb PFA-t, ezt követi a szár, majd a magok. Növénycsoportok között a levélzöldségek és a gyökérzöldségek akumulálják a

legtöbb vegyületet. A PFOA, a többi PFA-hoz képest nagyobb vízdoldhatósága miatt az egyik legnagyobb mennyiségben felhalmozódó vegyület a növényi szövetekben (Xu és társai 2022). Mind a természetes környezetben, mind a mezőgazdaságban, a növények a rövidebb szénláncú PFA vegyületeket veszik fel legnagyobb mennyiségben. Ezek befolyásolhatják a növények metabolizmusát, magas koncentráció esetén pedig fitotoxikus hatásuk van, befolyásolva a normál növekedést és fejlődést (Costello és Lee 2020, Li és társai 2020). A PFA-tartalmú peszticidek használata a mezőgazdaságban további terhet jelent a természetre és az élelmiszcélú növénytermesztésre is (Nascimento és társai 2018). Mivel a PFA vegyületek kimutathatók a környezetben különféle vizekben és biológiai mintákban, a természetes életközösségek táplálékhálózatában több helyen is megtalálhatók (Roth és társai 2020). Az emberi szervezethez hasonlóan az állatokban is különféle szaporodási és fejlődési zavarokkal, daganatos és egyéb megbetegedésekkel hozták összefüggésbe a PFA-kat. Erősen kötődnek olyan vesében található transzporterekhez, melyek több fajban is megtalálhatók, így hasonló felhalmozódást eredményeznek emberben és különböző állatokban is. A fajspecifikus különbségek feltárásához további vizsgálatok szükségesek, viszont az emberi szervezetre alkalmazott modellek más állati szervezetre is jól illeszthetők (Lu és társai 2023). A szárazföldi ökoszisztémákban különböző taxonok más-más PFA-profilokat halmoznak fel, mely valószínűleg a táplálkozási különbségeket tükrözi. Míg a növényevő gerinctelenek mind hosszú, mind rövid láncúakat, a ragadozó gerinctelenek elsősorban hosszú láncú PFA-kat akumulálnak (Groffen és társai 2023). Alacsonyabb rendű szervezetekben is érzékelhető hatásai vannak a PFA-knak, például hátrányosan befolyásolják a mikroorganizmusok diverzitását a természetben, továbbá a szennyvízben is (Huang és társai 2022). A PFA-k széles körű jelenléte különböző kontinenseken teljes ökoszisztéma-szennyezésre utal. A PFA-expozíció folyamatos monitorozása a szárazföldi és vízi szervezetekben kiemelten fontos, figyelembe véve a taxonok közötti bioakkumulációban és a potenciális toxicitásban mutatkozó különbségeket (Groffen és társai 2023).

JELENLEGI PROBLÉMÁK A PER- ÉS POLIFLUORALKIL-ANYAGOK SZENNYVÍZBEN VALÓ SZABÁLYOZÁSA KAPCSÁN

A korábbi fejezetekben ismertetésre került, hogy a PFA anyagok gyártása és használata önmagában problémát okoz, a vegyületek nagyfokú perzisztenciája és káros egészség hatásai miatt. Az előállítás és a felhasználást célzó jelenlegi szabályozások a tapasztalatok alapján nem képesek elérni a kitűzött célokat, részben néhány PFA kiemelt szerepe miatt, részben pedig a „sajnálatos helyettesítés”, továbbá a PFA-k használat utáni átalakulásai miatt. Valós példa erre a betiltott PFOS és PFOA, melyek még mindig a leggyakrabban detektált PFA vegyületek közé tartoznak a legtöbb típusú mátrix esetén. Fogyasztói szinten is különösen nehéz tenni a szennyezések ellen, mivel a vásárlók nagy valószínűséggel nem tudják a megvásárolt termékeikről, tartalmaznak-e PFA-kat, és ha igen, milyen vegyületeket és milyen koncentrációban. Amennyiben a kiváltó okot nem lehet érdemben megszüntetni, meg kell vizsgálni, mit lehet tenni a

már környezetbe kikerült vegyületekkel, hogyan lehet azokat monitorozni, terjedésüket megállítani, legjobb esetben ártalmatlanítani.

Számos publikáció foglalkozik a szennyvíztisztító telepeken áthaladó PFA-kkal, viszont rendkívül kevés fókusz irányul az egyedi háztartási szennyvizekre, és az ESZKB-kre. Néhány kutatás már rámutatott, hogy a házi szennyvíztisztítók jelentős mennyiségű, főleg rövid szénláncú PFA-t juttathatnak a felszín alatti vizekbe. A házi szennyvíztisztítók közelében lévő, 450 vizsgált kút 71%-ának vizében kimutatható mennyiségben voltak jelen PFA vegyületek (*Silver és társai 2023*), így ezek a rendszerek pontforrásként szolgálhatnak különböző szennyezőknek. Magyarországon, ahogy Közép-Kelet-Európa nagy részén, egyre elterjedtebbek a különböző technológiával működő ESZKB-k, viszont a növekvő használat mellé nem társul kifizető monitorozás és szabályozás (*Györki 2024*). A kisberendezések működésére vonatkozó információ hiánya jelentős kihívásokat jelent a környezeti kockázatelemzés és a szabályozások kidolgozása szempontjából is, melyet alátámaszt a Duna folyó egészére kiterjedő tanulmány, amelyben jelentős regionális eltéréseket figyeltek meg a PFA-koncentrációkban (*Kittlaus és társai 2024*). Az analitikai kihívások tovább nehezítik a monitorozást, mivel a PFA-k csoportja több ezer, különböző fizikai-kémiai tulajdonságokkal rendelkező vegyületet foglal magába. Az iparáganként és felhasználási területenként eltérő, jelentős változatosságot mutató PFA-profilok (*Gluge és társai 2020*) megnehezítik a célzott analitikai megközelítések pontos alkalmazását. Az analitikai módszereket gondosan illeszteni kell a különböző PFA-alcsoportokhoz, ennek ellenére így is előfordulhat, hogy néhány új PFA-t nem lehet kimutatni a jelenlegi technológiák korlátai miatt. Az egyéni PFA koncentrációk rendkívül alacsonyak lehetnek, így a mérések költségesek és magas technológiai igényűek lehetnek a megfelelő kimutatási határok elérése érdekében (*Nahar és társai 2023*). A mintavétel számos kihívással jár, a mátrixok fizikai és kémiai heterogenitása egyenletlen PFA-eloszlást eredményezhet, ami megnehezíti a reprezentatív és reprodukálható mintavételt. A fogyasztási cikkekben és laboratóriumi eszközökben előforduló PFA vegyületek könnyen keresztzsennyezéshez vezethetnek, a háttérkoncentrációk és a zavaró komponensek jelenléte pedig torzíthatja a mérések eredményét. A standardizált mintavételi módszerek hiánya tovább nehezíti a valós idejű megfigyelést, amely kulcsfontosságú lenne a gyors felismerés és beavatkozás szempontjából (*Nahar és társai 2023*). Az említett kihívások különösen jelentősek egyedi szennyvíztisztítók esetén, melyek működése és hatékonysága között számottevő eltérések lehetnek, továbbá hiányzik a szakszerű, rutin monitorozás és szabályozás (*Chirisa és társai 2017*).

A szabályozási környezet az utóbbi időben változáson ment keresztül az EU 2024/3019 irányelvének bevezetésével, amely a városi szennyvízkezelésre vonatkozik, és a tagállamok számára előírja a PFA vegyületek monitorozását a szennyvíztisztító telepek kibocsátott szennyvizében 2027-től. Az irányelv elsősorban a 10 000 lakosegységérték meghaladó kapacitású létesítményekre vonatkozik, így jelentős szabályozási hiányosság mutatkozik a decentralizált megoldások és az egyedi ESZKB-k esetében. Ez a

lakosegységérték gyakorlatilag kizár számos olyan vidéki közösséget és egyéni háztartást, melyek decentralizált szennyvízkezelési megoldásokra támaszkodnak, így egy kétszintű monitorozási rendszert hoz létre, amely figyelmen kívül hagyhatja a számos kis forrásból származó, de összességében jelentős PFA-kibocsátást. Jelenleg a decentralizált szennyvízkezelő rendszerekre vonatkozó szabályozás az Európai Unióban, így Magyarországon is fejletlen (*EU 2025*). Abban az esetben, ha bevezetésre kerülne az ESZKB-kre vonatkozó átfogó szabályozások, a gyakorlati megvalósítás jelentős nehézségekbe ütközne. Az egyedi rendszerek elhelyezkedéséből és különbségeiből adódóan a szisztematikus monitorozás jelentős terhet róna a szakemberekre. Ezen kívül a különböző rendszerek eltérő PFA-profiljai és működési hatékonyságai is jelentős eltéréseket mutatnak (*Thompson és társai 2022*), mely megnehezíti az egységesen alkalmazható szabályozások és szankcionálás kialakítását. A háztartási szennyvizekben található PFA vegyületek csökkentésére irányuló kezdeményezéseknek magukban kell foglalniuk direkt és indirekt stratégiákat is. Direkt beavatkozások közé tartozhatnak például olyan, fejlett utótisztítási technológiák, mint az aktív szén vagy ioncserélő rendszerek használata, melyek ígéretesnek bizonyultak ivóvíz PFA-mentesítése során (*Appleman és társai 2014*). Továbbra is kérdéses, hogy ezek a technológiák háztartási alkalmazása gazdaságilag megvalósítható-e. A közvetett beavatkozások a PFA vegyületek előállítását és használatát céloznák meg, egyszerű tiltások és szabályozások helyett például a fogyasztási cikkek reformulálásával (*Figuiere és társai 2025*), mely elérhetőbb cél a szisztematikus betiltások helyett. Az ilyen típusú megelőző intézkedések hosszú távon hatékony stratégiát jelenthetnek a környezeti PFA-terhelés csökkentésére.

ÖSSZEFOGLALÁS

A per- és polifluoralkil-anyagok rendkívül stabil szisztematikus vegyületek, amelyek kiemelkedő tulajdonságaik miatt széles körben elterjedtek az iparban és a háztartási termékekben, napjainkban globális szennyezőkké váltak. Perzisztens természetük, bioakkumulációs képességük és toxikus hatásaik miatt komoly környezeti és egészségkockázatot jelentenek. Bizonyított továbbá, hogy a hagyományos szennyvízkezelési rendszerek és az egyedi szennyvíztisztító kisberendezések nem alkalmasak hatékony eltávolításukra, így a PFA vegyületek gyakran bekerülnek a természetes körforgásokba, és előbb vagy utóbb érintkezésbe kerülnek az élő szervezetekkel. A PFA-szennyezést tovább súlyosbítja a vegyületcsoport rendkívüli változatossága: több ezer különböző molekula tartozik ide, amelyek eltérően viselkednek a szennyvíztisztítás során, a környezetben és az élő szervezetekben is. A szennyvizekben a PFA-profilok azok forrásától függően jelentős eltéréseket mutatnak, a különböző technológiájú szennyvíztisztító rendszerek pedig más-más PFA-összetételt eredményezhetnek a kezelt szennyvizben és a szennyvíziszapban. A jelenlegi szabályozások nem képesek elérni az általuk kitűzött célokat, részben az aggályos ipari gyakorlatok, részben pedig a PFA vegyületek változatossága és potenciális átalakulása miatt. A decentralizált rendszerekből származó PFA-terhelés ezen kívül könnyen elkerülheti a szabályozói figyelmet,

résben a kevés rendelkezésre álló adat miatt, részben mivel a jelenlegi előírások elsősorban a nagyobb léptékű szennyvíztisztító telepekre koncentrálnak.

A környezeti PFA-szennyezés csökkentésére irányuló megoldások két irányban keresendők: egyrészt közvetlen technológiai beavatkozások, másrészt megelőző jellegű, rendszerszintű intézkedések szükségesek. A szabályozásoknak továbbá ki kell terjedniük a decentralizált megoldásokra is, különösen olyan régiókban, ahol az ilyen rendszerek elterjedése miatti PFA-expozíció kockázata kiemelten magas lehet. A jövőre nézve elengedhetetlen a szabályozási és monitorozási rendszer bővítése, valamint az analitikai módszerek továbbfejlesztése annak érdekében, hogy az újonnan megjelenő PFA-vegyületek is azonosíthatók legyenek. A hatékony fellépés alapját a pontos adatgyűjtés, a szabályozási rendszerek részletes és rugalmas kidolgozása, valamint a különböző léptékű szennyvíztisztítás technológiai támogatása képezi. A jelenlegi tapasztalatok alapján csak ezek összehangolt megvalósításával lehet mérsékelni a PFA-k által jelentett környezeti és egészségügyi kockázatokat.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24-3-30 kódszámú egyetemi kutatói ösztöndíj programjának a nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

A közleményben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Abulfadl, M.M., Sharaf, A.M., Mostafa, M.M., El-Saeid, M.H. (2019). Impact of household cooking on release of fluorinated compounds PFOA and PFOS from Tefal coated cookware to foods. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 3(2), pp. 24-30. <https://doi.org/10.30574/wjarr>

Ameduri, B. (2023). Fluoropolymers as Unique and Irreplaceable Materials: Challenges and Future Trends in These Specific Per or Poly-Fluoroalkyl Substances. *Molecules*, 28, 7564. <https://doi.org/10.3390/molecules28227564>

Appleman, T.D., Higgins, C.P., Quinones, O., Vanderford, B.J., Kolstad, C., Zeigler-Holady, J.C., Dickenson, E.R. (2014). Treatment of poly- and perfluoroalkyl substances in U.S. full-scale water treatment systems. *Water Research*, 51, pp. 246-255. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.067>

Barisic S., Suri, R. (2021). Occurrence and removal of poly/perfluoroalkyl substances (PFAS) in municipal and industrial wastewater treatment plants. *Water Science & Technology*, 84, pp. 3442-3468. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.484>

Berhanu, A., Mutanda, I., Taolin, J., Qaria, M.A., Yang, B., Zhu, D. (2023). A review of microbial degradation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Biotransformation routes and enzymes. *Science of The Total Environment*, 859, 160010. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160010>

Blum, K.M., Andersson, P.L., Renman, G., Ahrens, L., Gros, M., Wiberg, K., Haglund, P. (2017). Non-target screening and prioritization of potentially persistent, bioaccumulating and toxic domestic wastewater contaminants and their removal in on-site and large-scale sewage treatment plants. *Science of The Total Environment*, 575, pp. 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.135>

Blum, K.M., Andersson, P.L., Ahrens, L., Wiberg, K., Haglund, P. (2018). Persistence, mobility and bioavailability of emerging organic contaminants discharged from sewage treatment plants. *Science of The Total Environment*, 612, pp. 1532-1542. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.006>

Boronow, K.E., Brody, J.G., Schaidler, L.A., Peaslee, G.F., Havas, L., Cohn, B. A. (2019). Serum concentrations of PFASs and exposure-related behaviors in African American and non-Hispanic white women. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29, pp. 206-217. <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0109-y>

Brunn, H., Arnold, G., Körner, W., Rippen, G., Steinhäuser, K.G., Valentin, I. (2023). PFAS. forever chemicals—persistent, bioaccumulative and mobile. Reviewing the status and the need for their phase out and remediation of contaminated sites. *Environmental Sciences Europe*, 35. <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00721-8>

Buck, R.C., Korzeniowski, S.H., Laganis, E., Adamsky, F. (2021). Identification and classification of commercially relevant per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS). *Integrated Environmental Assessment and Management*, 17, pp. 1045-1055. <https://doi.org/10.1002/ieam.4450>

Chirisa, I., Bandaiko, E., Matamanda, A., Mandisvika, G. (2017). Decentralized domestic wastewater systems in developing countries: the case study of Harare (Zimbabwe). *Applied Water Science*, 7, pp. 1069-1078. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0377-4>

Cordner, A., Goldenman, G., Birnbaum, L.S., Brown, P., Miller, M.F., Mueller, R., Patton, S., Salvatore, D.H., Trasande, L. (2021). The True Cost of PFAS and the Benefits of Acting Now. *Environmental Science & Technology*, 55, pp. 9630-9633. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03565>

Costello, M.C.S., Lee, L.S. (2020). Sources, Fate, and Plant Uptake in Agricultural Systems of Per- and Polyfluoroalkyl Substances. *Current Pollution Reports*, 10, pp. 799-819. <https://doi.org/10.1007/s40726-020-00168-y>

Daugherty S., Mulabagal, V., Hayworth, J., Akingbemi, B.T. (2023). Legacy and Emerging Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances Regulate Steroidogenesis in the Male Gonad. *Endocrinology*, 164, pp. <https://doi.org/10.1210/endo/bqad142>

Dewapriya, P., Chadwick, L., Gorji, S.G.i, Schulze, B., Valsecchi, S., Samanipour, S., Thomas, K.V., Kaserzon, S.L. (2023). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in consumer products: Current knowledge and research gaps. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 4, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2023.100086>

EPA (2025). Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS).

EU (2025). Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/3019 irányelve a települési szennyvíz kezeléséről.

Evich, M.G., Davis, M.J.B., Mccord, J.P., Acrey, B., Awkerman, J.A., Knappe, D.R.U., Lindstrom, A.B., Speth, T.F., Tebes-Stevens, C., Strynar, M.J., Wang, Z., Weber, E.J., Henderson, W.M., Washington, J.W. (2022). Per- and polyfluoroalkyl substances in the environment. *Science*, Vol. 375, eabg9065. <https://doi.org/10.1126/science.abg9065>

Figuire, R., Miaz, L.T., Savvidou, E., Cousins, I.T. (2025). An Overview of Potential Alternatives for the Multiple Uses of Per- and Polyfluoroalkyl Substances. *Environmental Science & Technology*, 59, pp. 2031-2042. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c09088>

Fischer, F.C., Ludtke, S., Thackray, C., Pickard, H.M., Haque, F., Dassuncao, C., Endo, S., Schaidler, L., Sunderland, E.M. (2024). Binding of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) to Serum Proteins: Implications for Toxicokinetics in Humans. *Environmental Science & Technology*, 58, pp. 1055-1063. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c07415>

Glassmeyer, S. T., Wigginton, S., Baumgaertel, B., Heufelder, G., Mills, M. A., Corum, S., Brown, A., Modiri, M., Kolpin, D. W., Tettenhorst, D. R., Story, J., Dombroski, I., McCobb, T., Erban, L., Bradley, P., & Smalling, K. (2022). Transformation of per-and polyfluoroalkyl substances during onsite septic system treatment [Konferenciaelőadás]. SETAC North America 43rd Annual Meeting, Pittsburgh, PA, United States. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/water-research/innovativealternative-septic-systems>

Gluge, J., Scheringer, M., Cousins, I.T., Dewitt, J.C., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C.A., Trier, X., Wang, Z. (2020). An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22, pp. 2345-2373. <https://doi.org/10.1039/D0EM00291G>

Gobelius, L., Glimstedt, L., Olsson, J., Wiberg, K., Ahrens, L. (2023). Mass flow of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in a Swedish municipal wastewater network and wastewater treatment plant. *Chemosphere*, 336, 139182. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139182>

Groffen, T., Prinsen, E., Devos Stoffels, O.A., Maas, L., Vincke, P., Lasters, R., Eens, M., Bervoets, L. (2023). PFAS accumulation in several terrestrial plant and invertebrate species reveals species-specific differences. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, pp. 23820-23835. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23799-8>

Gros, M., Blum, K. ., Jernstedt, H., Renman, G., Rodriguez-Mozaz, S., Haglund, P., Andersson, P. ., Wiberg, K., Ahrens, L. (2017). Screening and prioritization of micropollutants in wastewaters from on-site sewage treatment facilities. *Journal of Hazardous Materials*, 328, pp. 37-45. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.12.055>

Györki G. (2024). Kezelt szennyvíz újrafelhasználásának lehetőségei és kihívásai Magyarországon. *Hidrológiai Közlöny*, 104. évf. pp. 28-42. <https://doi.org/10.59258/hk.15659>

Hartz W. F., Bjornsdotter, M. K., Yeung, L. W. Y., Humby, J. D., Eckhardt, S., Evangeliou, N., Ericson Jogsten, I., Karrman, A., Kallenborn, R. (2024). Sources and Seasonal Variations of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Surface Snow in the Arctic. *Environmental Science & Technology*, 58, pp. 21817-21828. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c08854>

Hoang Nhat, P.V., Huu Hao, N., Wenshan, G., Thi Minh, H.N., Li, Jianxin, L., Heng L., Deng, L., Chen, Z., Hang Nguyen, T.A. (2020). Poly-and perfluoroalkyl substances in water and wastewater: A comprehensive review from sources to remediation. *Journal of Water Process Engineering*, 36, 101393. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101393>

Huang, D., Xu, R., Sun, X., Li, Y., Xiao, E., Xu, Z., Wang, Q., Gao, P., Yang, Z., Lin, H., Sun, W. (2022). Effects of perfluorooctanoic acid (PFOA) on activated sludge microbial community under aerobic and anaerobic conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, pp. 63379-63392. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18841-8>

Jiang, Q., Gao, H., Zhang, L. (2015). *Metabolic Effects PFAS*. Springer International Publishing, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15518-0_7

Karches T. (2020). Kis kapacitású szennyvíztisztító létesítmények (T. Karches, Szerk.), Ludovika Kiadó.

Kim, J., Xin, X., Hawkins, G.L., Huang, Q., Huang, C.H. (2024). Occurrence, Fate, and Removal of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Small- and Large-Scale Municipal Wastewater Treatment Facilities in the United States. *ACS ES&T Water*, 4, pp. 5428-5436. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.4c00541>

Kittlaus, S., Kardos, M.K., Dudás, K.M., Weber, N., Clement, A., Petkova, S., Sukovic, D., Kučić Grgić, D., Kovacs, A., Kocman, D., Moldovan, C., Kirchner, M., Gabriel, O., Krampe, J., Zessner, M., Zoboli, O. (2024). A harmonized Danube basin-wide multi-compartment concentration database to support inventories of micropollutant emissions to surface waters. *Environmental Sciences Europe*, 36, 52. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00862-4>

Kolanczyk, R.C., Saley, M., Serrano, J.A., Daley, S.M., Tapper, M.A. (2023). PFAS Biotransformation Pathways: A Species Comparison Study. *Toxics*, 11, 74. <https://doi.org/10.3390/toxics11010074>

Kumar, R., Dada, T. K., Whelan, A., Cannon, P., Sheehan, M., Reeves, L., Antunes, E. (2023). Microbial and thermal treatment techniques for degradation of PFAS in biosolids: A focus on degradation mechanisms and pathways. *Journal of Hazardous Materials*, 452, pp. 131212. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131212>

Kurwadkar, S., Dane, J., Kanel, S.R., Nadagouda, M.N., Cawdrey, R.W., Ambade, B., Struckhoff, G.C., Wilkin, R. (2022). Per- and polyfluoroalkyl substances in water and wastewater: A critical review of their global occurrence and distribution. *Science of The Total*

Environment, 809, 151003.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151003>

Kwiatkowski, C.F., Andrews, D.Q., Birnbaum, L.S., Bruton, T.A., Dewitt, J.C., Knappe, D.R.U., Maffini, M.V., Miller, M.F., Pelch, K.E., Reade, A., Soehl, A., Trier, X., Venier, M., Wagner, C.C., Wang, Z., Blum, A. (2020). Scientific Basis for Managing PFAS as a Chemical Class. *Environmental Science & Technology Letters*, 7, pp. 532-543. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00255>

Li, P., Oyang, X., Xie, X., Li, Z., Yang, H., Xi, J., Guo, Y., Tian, X., Liu, B., Li, J., Xiao, Z. (2020). Phytotoxicity induced by perfluorooctanoic acid and perfluorooctane sulfonate via metabolomics. *Journal of Hazardous Materials*, 389, 121852.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121852>

Libralato, G., Volpi Ghirardini, A., Avezzù, F. (2012). To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. *Journal of Environmental Management*, 94(1), pp. 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.010>

Lu, Y., Guan, R.Z., Nali, H., Jinghua, P., Hanyong, H., Anen, Z., Chunyan, W., Yawei, W., Jiang, G. (2023). A critical review on the bioaccumulation, transportation, and elimination of per- and polyfluoroalkyl substances in human beings. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 54, pp. 95-116.

<https://doi.org/10.1080/10643389.2023.2223118>

Nahar, K., Zulkarnain, N. A., Niven, R.K. (2023). A Review of Analytical Methods and Technologies for Monitoring Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Water. *Water*, 15, 3577.

<https://doi.org/10.3390/w15203577>

Nascimento, R.A., Nunoo, D.B.O., Bizkarguenaga, E., Schultes, L., Zabaleta, I., Benskin, J.P., Spano, S., Leonel, J. (2018). Sulfluramid use in Brazilian agriculture: A source of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) to the environment. *Environmental Pollution*, 242, pp. 1436-1443. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.122>

O'Connor, J., Bolan, N.S., Kumar, M., Nitai, A.S., Ahmed, M.B., Bolan, S.S., Vithanage, M., Rinklebe, J., Mukhopadhyay, R., Srivastava, P., Sarkar, B., Bhatnagar, A., Wang, H., Siddique, Kadambot H.M., Kirkham, M.B. (2022). Distribution, transformation and remediation of poly- and per-fluoroalkyl substances (PFAS) in wastewater sources. *Process Safety and Environmental Protection*, 164, pp. 91-108.

<https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.06.002>

Olsen G.W., Zobel, L.R. (2007). Assessment of lipid, hepatic, and thyroid parameters with serum perfluorooctanoate (PFOA) concentrations in fluorochemical production workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 81, pp. 231-246. <https://doi.org/10.1007/s00420-007-0213-0>

Penrose, M., Deighton, J., Glassmeyer, S.T., Brougham, A., Bessler, Scott M., Mcknight, T., Ateia, M. (2025). Elevated PFAS Precursors in Septage and Residential Pump Stations. *Environmental Science & Technology Letters*, 12, pp. 454-460.

<https://doi.org/10.1021/acs.estlett.5c00246>

Rodgers, K.M., Swartz, C.H., Occhialini, J., Bassignani, P., Mccurdy, M., Schaidler, L.A. (2022). How Well Do Product Labels Indicate the Presence of PFAS in Consumer Items Used by Children and Adolescents? *Environmental Science & Technology*, 56, pp. 6294-6304. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c05175>

Roth, K., Imran, Z., Liu, W., Petriello, M.C. (2020). Diet as an Exposure Source and Mediator of Per- and Polyfluoroalkyl Substance (PFAS) Toxicity. *Frontiers in Toxicology*, 2, 601149.

<https://doi.org/10.3389/ftox.2020.601149>

Ruyle B. J., Pennoyer, E. H., Vojta, S., Becanova, J., Islam, M., Webster, T. F., Heiger-Bernays, W., Lohmann, R., Westerhoff, P., Schaefer, C. E., Sunderland, E. M. (2025): High organofluorine concentrations in municipal wastewater affect downstream drinking water supplies for millions of Americans. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*, 122, pp.

<https://doi.org/10.1073/pnas.2417156122>

Schultz, M.M., Higgins, C.P., Huset, C.A., Luthy, R.G., Barofsky, D.F., Field, J. A. (2006). Fluorochemical mass flows in a municipal wastewater treatment facility. *Environmental Science & Technology*, 40, pp. 7350-7357. <https://doi.org/10.1021/es061025m>

Schymanski, E.L., Zhang, J., Thiessen, P.A., Chirsir, P., Kondic, T., Bolton, E.E. (2023). Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in PubChem: 7 Million and Growing. *Environmental Science & Technology*, 57, pp. 16918-16928.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.3c04855>

Sepulvado, J.G., Blaine, A.C., Hundal, L.S., Higgins, C.P. (2011). Occurrence and fate of perfluorochemicals in soil following the land application of municipal biosolids. *Environmental Science & Technology*, 45, pp. 8106-8112. <https://doi.org/10.1021/es103903d>

Silver, M., Phelps, W., Masarik, K., Burke, K., Zhang, C., Schwartz, A., Wang, M., Nitka, A.L., Schutz, J., Trainor, T., Washington, J.W., Rheineck, B.D. (2023). Prevalence and Source Tracing of PFAS in Shallow Groundwater Used for Drinking Water in Wisconsin, USA. *Environmental Science & Technology*, 57, pp. 17415-17426. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c02826>

Stockholm (2004). A vegyi anyagok jelentette veszélyek kezelése (Stockholmi Egyezmény).

Subedi, B., Codru, N., Dziewulski, D.M., Wilson, L.R., Xue, J., Yun, S., Braun-Howland, E., Minihane, C., Kannan, K. (2015). A pilot study on the assessment of trace organic contaminants including pharmaceuticals and personal care products from on-site wastewater treatment systems along Skaneateles Lake in New York State, USA. *Water Research*, 72, pp. 28-39.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.10.049>

Szabo, D., Marchiandi, J., Samandra, S., Johnston, J.M., Mulder, R.A., Green, M.P., Clarke, B.O. (2023). High-resolution temporal wastewater treatment plant investigation to understand influent mass flux of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Journal of Hazardous Materials*, 447, 130854.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130854>

Teymourian, T., Teymoorian, T., Kowsari, E., Ramakrishna, S. (2021). A review of emerging PFAS contaminants: sources, fate, health risks, and a comprehensive assortment of recent sorbents for PFAS treatment by evaluating their mechanism. *Research on Chemical Intermediates*, 47, pp. 4879-4914. <https://doi.org/10.1007/s11164-021-04603-7>

Thompson J.T., Chen, B., Bowden, J.A., Townsend, T.G. (2023). Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Toilet Paper and the Impact on Wastewater Systems. *Environmental Science & Technology Letters*, 10, pp. 234-239. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.3c00094>

Thompson K.A., Mortazavian, S., Dana, J. G., Bott, C., Hooper, J., Schaefer, C.E., Dickenson, E.R.V. (2022). Poly- and Perfluoroalkyl Substances in Municipal Wastewater Treatment Plants in the United States: Seasonal Patterns and Meta-Analysis of Long-Term Trends and Average Concentrations. *ACS ES&T Water*, 2, pp. 690-700. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.1c00377>

Vieira, V.M., Hoffman, K., Shin, H.M., Weinberg, J.M., Webster, T.F., Fletcher, T. (2013). Perfluorooctanoic acid exposure and cancer outcomes in a contaminated community: a geographic analysis. *Environmental Health Perspectives*, 121, pp. 318-323. <https://doi.org/10.1289/ehp.1205829>

Wang, M., Zhu, J., Mao, X. (2021). Removal of Pathogens in Onsite Wastewater Treatment Systems: A Review of Design Considerations and Influencing Factors. *Water*, 13, pp. <https://doi.org/10.3390/w13091190>

Wang, Z., Dewitt, J.C., Higgins, C.P., Cousins, I.T. (2017). A Never-Ending Story of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)? *Environmental Science & Technology*, 51, pp. 2508-2518. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04806>

Wee, S.Y., Aris, A.Z. (2023). Environmental impacts, exposure pathways, and health effects of PFOA and PFOS. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 267, 115663. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115663>

Xu, B., Qiu, W., Du, J., Wan, Z., Zhou, J.L., Chen, H., Liu, R., Magnuson, J.T., Zheng, C. (2022). Translocation, bioaccumulation, and distribution of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in plants. *iScience*, 25, 104061. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104061>

Zhou, Y., Wang, M., Xin, J., Wu, Y., Wang, M. (2024). The Distribution and Pollution Pathway Analysis of Perfluoroalkyl Acids (PFAAs) in a Typical Agricultural Plastic Greenhouse for Cultivated Vegetables. *Agriculture*, 14, 1321. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081321>

A SZERZŐK



GYÖRKÍ GÁBOR okleveles vegyészmérnök (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2021), jelenleg a Nemzeti Közzolgálati Egyetemen dolgozik mint tanársegéd, és folytat PhD tanulmányokat. 2022 óta a Nemzeti Közzolgálati Egyetem Vízstudományi Karán a Környezeti Mikrobiológia Kutatócsoport tagja, részt vesz a Vízstudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium című projektben, továbbá kémia, mérnöki kémia, vízkémia, környezeti biotechnológia tárgyakat oktat.



KNISZ JUDIT biológus (Pécsi Tudományegyetem, 2001), a biológia doktora (Pécsi Tudományegyetem, 2010), a PhD területe a „Molekuláris biológia” volt. Az NKE VTK tudományos főmunkatársa. Kutatási területei: mikrobiálisan befolyásolt korrózió, egyedi szennyvíztisztító kisberendezések tisztítási hatékonyságának vizsgálata, valamint az ezek működése során a környezetbe jutó szerves mikroszennyezők azonosítása.

Ifjúsági sarok

A Hidrológiai Közlöny elkötelezett a szakemberek következő generációjának nevelésében. Ennek a küldetésnek a részeként az Ifjúsági Sarok oldalai lehetőséget biztosítanak a középiskolás diákoknak a kutatási eredményeik bemutatására. Arra biztatjuk olvasóinkat, hogy tisztelettel fogadják és támogassák fiatal szerzőinket. Ez a tanulmány a 2025-es Stockholmi Junior Víz Díj magyar versenyére készült.

Egy vödör etetőanyag, egy tó sorsa – Horgászat a Balatonban

A rekreációs horgászatból származó tápanyagbevitel szerepe a Balaton eutrofizációjában: foszfor- és nitrogénformák kvantitatív vizsgálata.

Kovács Rozina Sára¹

¹ XIV Kerületi Teleki Blanka Gimnázium, 1146 Budapest Ajtósi Dürer sor 37. (e-mail: rozinakovacs84@gmail.com)

DOI: 10.59258/hk.20603



Kivonat

Ez a tanulmány a rekreációs horgászat lehetséges környezeti hatásait vizsgálja a Balatonon, Közép-Európa legnagyobb édesvízi taván, amelyet túlnyomórészt szabadidős tevékenységekre, többek között horgászatra használnak. Az elmúlt években a horgászati tevékenységek folyamatosan nőttek, a nyári hónapokban a becslések szerint 20 000 – 35 000 horgász időzik a parton. A Magyar Országos Horgász Szövetség (MOHOSZ) jelenleg több mint 1 millió tagot számlál. Annak ellenére, hogy a statisztikai adatok a horgászati tevékenység növekedésére utalnak, a tó vízminőségére gyakorolt hatásairól csak korlátozott adatok állnak rendelkezésre, ami a jelen projekt indoka. Az eredeti hipotézis szerint a horgászok jelentősen hozzájárulhatnak a tó ökoszisztémájának ökológiai integritását veszélyeztető tápanyagterheléshez. Ez elsősorban a haledelek széleskörű, gyakran szabályozatlan használatának köszönhető, mind helyi, mind globális szinten. Ezen etetőanyagok olyan tápanyagokat juttatnak a vízi környezetbe, mint a foszfát, nitrát, nitrit és ammónium, amelyek az édesvízi rendszerekben az algavirágzás és az ökológiai állapotromlás okozói. A célzott vizsgálatok hiánya miatt azonban továbbra is bizonytalan, hogy ezek a táplálékok milyen konkrét hatást gyakorolnak. E kutatás célja, hogy számszerűsítse a növényi tápanyagok kibocsátását haledelekből, amelyek általában szénhidrát alapúak. A laboratóriumi kísérleteket Balaton vízből és a kiválasztott etetőanyagokból álló szuszpenziókkal vizsgáltuk, amelyek valós horgászati gyakorlatot tükröző arányokban készültek. A koncentrációkat, beleértve a foszfát-, nitrit-, nitrát- és ammóniumionokat is, spektrofotométer segítségével határoztuk meg. A kapott adatokat ezt követően összehasonlítottuk más analóg vizsgálatok eredményeivel.

Az eredmények azt mutatják, hogy a halak beetetése hetente körülbelül 0,11-0,35 tonna foszforral adódik hozzá a tó foszformérlegéhez, ami egy három hónapos időszak alatt 1,37-4,25 tonna halmozott foszforbevitelnek felel meg. A szerves nitrogénvegyületek esetében a heti hozzájárulások 0,10 és 1,69 tonna között mozognak, ami ugyanezen időszak alatt 1,21 és 20,32 tonna közötti összebevitt eredményezett. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a szabadidős horgászat a korábban feltételezettnél jelentősebb szerepet játszhat a Balaton eutrofizációjában.

Kulcsszavak

Balaton, rekreációs horgászat, eutrofizáció, etetőanyagok, csali, fenntarthatóság, víztisztaság.

A bucket of bait, the future of a lake – Fishing in Lake Balaton

The role of nutrient inputs from recreational fishing in the eutrophication of Lake Balaton: a quantitative study of phosphorus and nitrogen forms.

Abstract

This study examines the potential environmental impact of recreational fishing on Lake Balaton, the largest freshwater lake in Central Europe, which is predominantly used for leisure activities, including angling. In recent years, fishing activities have steadily increased, with an estimated 20 000 to 35 000 individuals engaging in fishing during the summer months. The Hungarian National Angling Association (MOHOSZ) currently reports its membership exceeding 1 million. Despite statistical evidence indicating a rise in fishing activity, limited data are available concerning its effects on the lake's water quality, thereby prompting this project. The initial hypothesis posited that fish feeders may substantially contribute to the nutrient load that threatens the ecological integrity of lake ecosystems. This is primarily due to the widespread, often unregulated use of groundbait, both locally and globally. Fish feeders introduce nutrients such as phosphate, nitrate, nitrite, and ammonium into the aquatic environment—compounds that are recognized drivers of algal blooms and ecological deterioration in freshwater systems. However, the specific influence of these feeders remains uncertain due to a lack of targeted studies. The objective of this research is to quantify the release of plant nutrients from fish feeders, which are commonly based on corn or fishmeal, along with various additives. Laboratory experiments were conducted using suspensions made from Lake Balaton water and selected fish feeders, mixed in predefined ratios that reflect typical angling practices. Concentrations, including phosphate, nitrite, nitrate, and ammonium ions, were determined by using a spectrophotometer. The data obtained were subsequently compared with findings from analogous studies.

The results demonstrate that fish feeders contribute approximately 0.11 to 0.35 metric tons of phosphorus per week, corresponding to a cumulative input of 1.37 to 4.25 metric tons over a three-month period. For inorganic nitrogen compounds, weekly contributions ranged from 0.10 to 1.69 metric tons, resulting in a total input of 1.21 to 20.32 metric tons during the same duration. These findings suggest that recreational fishing may play a more significant role in the eutrophication of Lake Balaton than previously thought.

Keywords

Lake Balaton, groundbait, recreational fishing, eutrophication, angling, sustainability.

BEVEZETÉS

Az édesvízi tavak eutrofizációja káros hatással van az ökoszisztémára és a vízminőségre. Ez a probléma elsősorban a foszforból és nitrogénből álló túlzott növényi tápanyagterhelés miatt jelentkezik, ami a fotoszintetizáló szervezetek, például az algák túlszaporodásához vezet.

A Balaton, napjainkban 600 km²-es felületével Közép-Európa legnagyobb sekély édesvízi tava. A tó vízminőségét és ökoszisztémáját nagyban befolyásolja a geológia, az éghajlat és a környező vízgyűjtő terület. Az 5 174 km²-es vízgyűjtő terület olyan jelentős folyókat foglal magában, mint a Zala folyó, amely döntő szerepet játszik a tó tápanyagellátásában.

A vízgyűjtő-gazdálkodási terv (VGT), amelyet az EU Víz Keretirányelv (*VKI 2000*) ír elő, egyebek mellett a vizek, köztük a tavak, folyók és felszín alatti vizek ökológiai és kémiai állapotának fenntartását és javítását tűzi ki célul. Magyarország második vízgyűjtő-gazdálkodási tervében (*VGT 2015*) lévő program a szennyezés csökkentésére, a vízkészletekkel való fenntartható gazdálkodásra, az árvizek és aszályok kezelésére, valamint a biológiai sokféleség megőrzésére összpontosít. A Balaton állapota jónak minősül, eutrofizációs szintjét jól kezelik, tápanyagkoncentrációja pedig kiválóan tekinthető (*VGT 2015*). A tó azonban még mindig eutrofizációs kockázatokkal néz szembe, emellett a horgászatot a vízgazdálkodási terv népszerű tevékenységként emeli ki.

A Balaton rekreációs és turisztikai célú használata prioritás, így tó körüli horgászat az utóbbi években egyre népszerűbbé vált. Számokban kifejezve ez azt jelenti, hogy 2024-ben, Magyar Országos Horgász Szövetség (MOHOSZ) adatai szerint (*MOHOSZ 2024*) a regisztrált horgászok száma Magyarországon meghaladta a 1 000 000 főt. A Balaton körüli horgásztevékenység jelentős, mintegy 50 helyi horgászegyesület, valamint további egyesületek tevékenykednek a régióban, amelyek mind a MOHOSZ felügyelete alatt állnak. Az eladott horgászjegyek száma is folyamatosan emelkedik. A terület évente 50 000-70 000 horgászjegyet ad ki, amelyek között különböző típusok, például éves, heti, napi és regionális engedélyek is vannak. Évente horgászversenyeket rendeznek a tavon, mint például a Nemzetközi Balatoni Pontyfogó Kupát, amely évente 900-1 200 résztvevőt vonz. A júniustól augusztusig tartó főszezonban hetente 20 000-35 000 horgász látogatja a partszakaszokat, ez a szám a szezonon kívüli hónapokban, tavasszal és ősszel kevesebb. Népszerű horgász helyek közé tartozik Siófok, Balatonboglár, Fonyód és a Tihanyi móló, bár a horgászat a tó egész területén zajlik.

Hazánkban sokféle horgász módszer létezik, de a legtöbben a fenekedő vagy úszós horgászatot alkalmazzák. Az etetőanyagokra pedig azért van szükség, hogy a halakat odacsalják a horoghoz. A haledeleket sokféleképpen lehet csoportokba sorolni: édes és sós, hallisztes, magvas és szemes. A haltápok kiválasztása egyéni preferencia vagy szezon alapján történhet (*MATE 2021*).

MÓDSZEREK

Meghatározott koncentráció a bemérésekhez

Ebben a tanulmányban modellező megközelítést alkalmaztunk a tó vizében lévő haleledel koncentrációjának becslésére. Egy tipikus etetési forgatókönyvet szimuláltunk, ahol egy 20 kilogrammos vödörnyi, 10 kilogramm szárazanyag-tartalmú etetőanyagot öntünk bele a 14 köbméteres vízoszlopban. Bár a 20 kilogrammos vödört használtuk standardként, az etetési gyakorlatban más különböző eszközöket is használhatnak, beleértve a 20-30 kilogramm haleledelt tartalmazó vödröket, kisebb csalikosarakat és konténereket. E gyakorlatok alapján a kísérleti koncentráció létrehozásához 0,02 gramm örölt csalit és 100 milliliter tó vizet mérünk be ezzel kialakítva a megfelelő 0,2 g/l szuszpenziót.

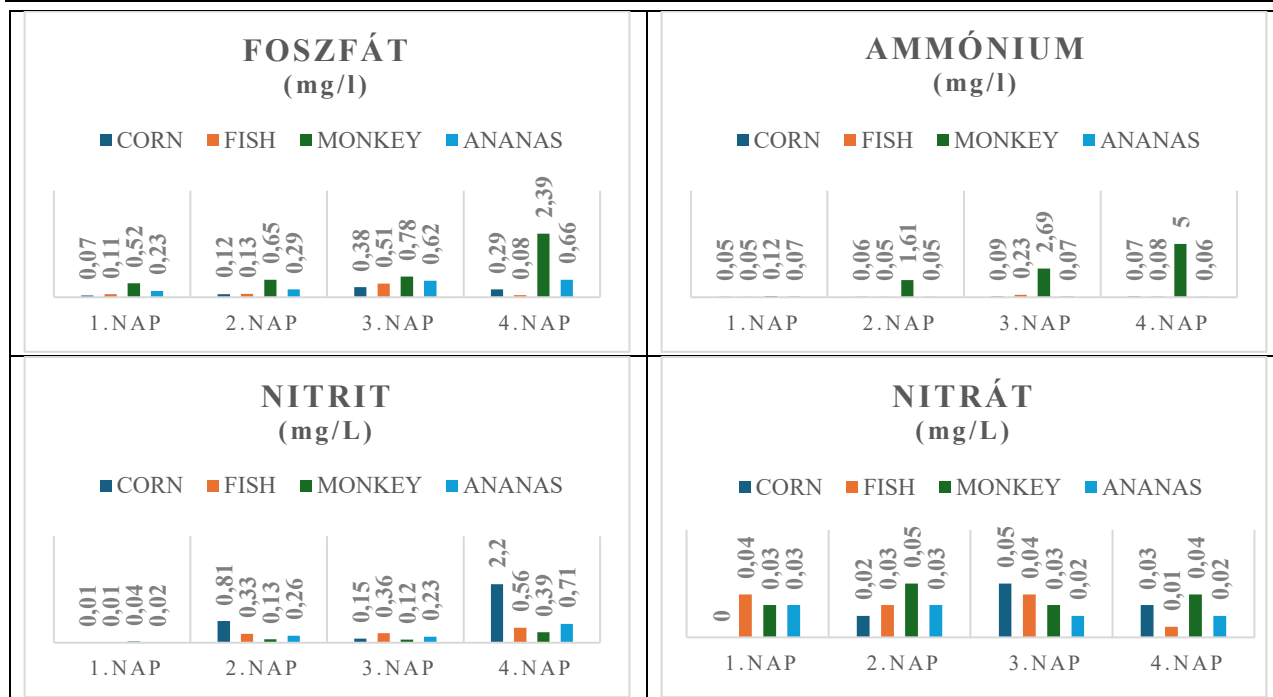
Laboratóriumi munka

Ellenőrzött laboratóriumi körülmények között végeztünk kioldódási vizsgálatokat a tápanyag-fel szabadulás felmérése céljából. Minden egyes kísérletben 0,02 g haleledet szuszpendáltunk 100 ml Balaton-vízben és hőszabályozott, elsötétített kamrában inkubáltuk mintáinkat. Az inkubációt követően spektrofotometriás elemzéssel meghatároztuk az ammónium, foszfát, nitrát és nitrit koncentrációját. Minden egyes ioncsoporthoz naponta vak kontrollmintákat készítettünk, kizárólag a reagensek és ioncserélt víz felhasználásával, amelyek a zavaró anyagok hiányának igazolására szolgáltak a kalorimetrikus válasz hiánya révén. Az abszorbancia méréseket ionspecifikus hullámhosszon végeztük, szabványosított protokollok szerint. A minták elszíneződése, amely a felhasznált reagenssel változott, arányos volt a tápanyagkoncentrációval. A megbízható leolvasás biztosítása érdekében a nagy zavarosságú vagy a sötét elszíneződésű minták esetében szűrést vagy hígítást alkalmaztunk.

EREDMÉNYEK

Mérési eredmények

A tanulmány célja annak vizsgálata volt, hogy az eutrofizáció közvetlen okaként azonosítható-e az etetőanyag használat. A kutatási kérdés megválaszolása érdekében kioldási kísérleteket végeztünk etetőanyag-szuszenziókkal egy négynapos mérési időszak alatt. A minták foszfát-, ammónium-, nitrit- és nitrát koncentrációját spektrofotométerrel állapítottuk meg. A mérések során kapott eredményeket diagramok formájában mutatjuk be.



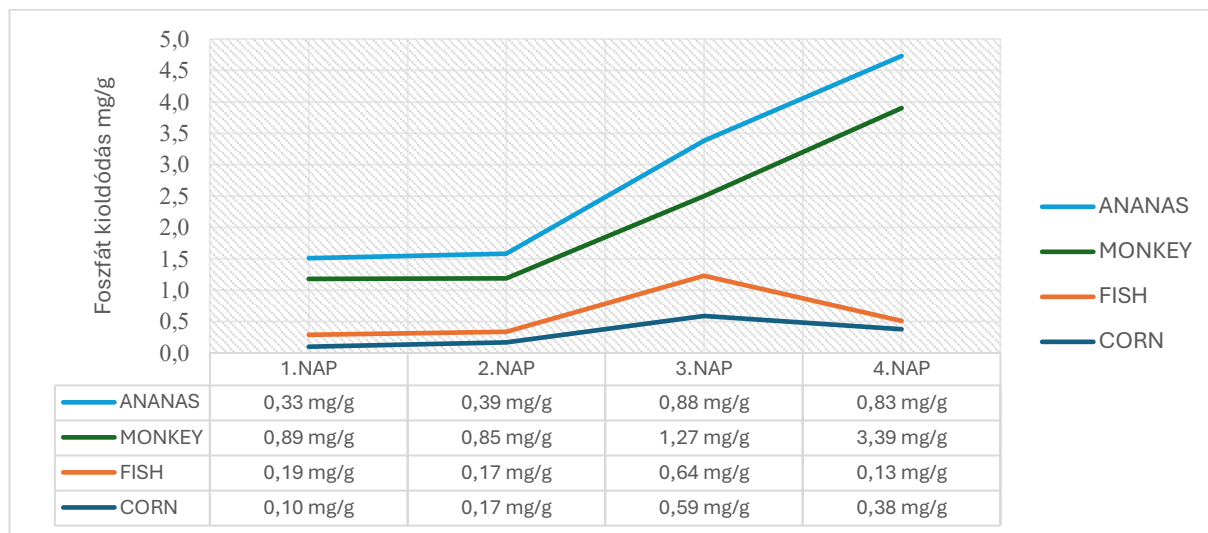
1. ábra. Mérési eredmények a négy féle etetőanyag-szuszpenzió (Corn, Fish, Monkey, Ananas) foszfát-, ammónium-, nitrit- és nitrát koncentrációjáról

Figure 1. Measurement results of the phosphate, ammonium, nitrite and nitrate concentrations of the four types of feed suspension (Corn, Fish, Monkey, Ananas)

Kioldódási dinamikák

Az alábbi grafikon jól szemlélteti az, hogy a MONKEY és az ANANAS haltápok bocsátották ki grammonkénti a legnagyobb foszformennyiséget a vizsgálati időszak alatt. Figyelemre méltó, hogy ezen haleledelek foszforfelszabadulása 4 nap alatt nem érte el a maximumot, ami arra utal, hogy a maximális potenciális felszabadulás még nem valósult meg, és ez indokolja a

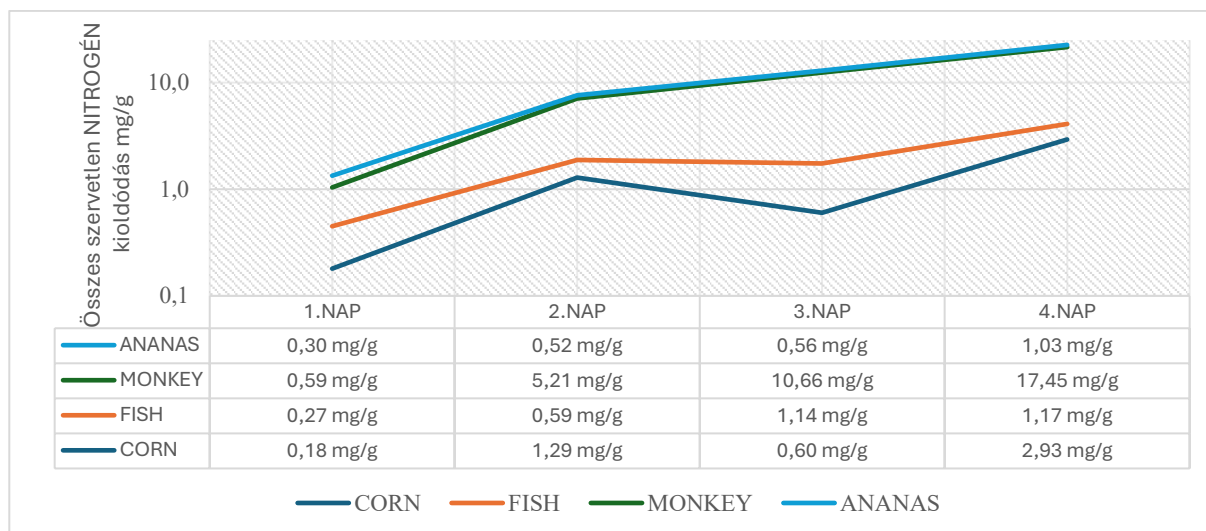
vizsgálati időszak meghosszabbítását. Ennek ellenére a jelenlegi adatok már most is jelentős betekintést nyújtanak a vizsgált problémába. Ezen túlmenően az eredmények alapot nyújtanak a horgászathoz használt etetőanyagokból felszabaduló foszfor és teljes szervesetlen nitrogén mennyiségének megbízható becsléséhez, amely információt nyújt a rekreációs horgászat okozta tápanyag terhelésről.



2. ábra. A haltápok FOSZFÁT kioldódási dinamikája
Figure 2. PHOSPHATE leaching dynamics of fish feeds

Az összes szervesetlen nitrogén meghatározását a nitrogén különböző oxidációs állapotait képviselő ammónium, nitrit és nitrát koncentrációinak összegzésével végeztük. Az eredmények azt mutatják, hogy a MONKEY és az ANANAS etetőanyagok lényegesen nagyobb mennyiségű szervesetlen nitrogént bocsátottak ki, elsősorban nitrit és ammónium formájában, melyhez a nitrát kisebb mértékben járult hozzá. Ez

a megnövekedett kibocsátás összefügghet az adott halelelben található szénhidrát típusával és más olyan összetevőkkel, amelyek befolyásolhatják a nitrogén felszabadulásának sebességét vagy mértékét. A diffúz kioldódás lehetőségét is figyelembe vettük. Ezek az eredmények azt sugallják, hogy hosszabb megfigyelési időszakokra van szükség a kioldódási dinamika megértéséhez.



3. ábra. A haltápok összes szervetlen NITROGÉN kioldódási diagramja
Figure 3. Leaching dynamics of total inorganic NITROGEN compounds of fish feeds

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS MEGOLDÁSI JAVASLATOK

Az adatok értelmezésénél fontos figyelembe venni, hogy az eredményeket megbízható laboratóriumi műszerek használatával kaptuk, ami szilárd alapot biztosít a későbbi számításokhoz.

Bár az a horgászok heti számának becslése 25 000 fő lenne, azonban végül a 30 000-es számot választottuk átlagként. Ez a nagyobb értéket valószínűsítő becslés pontosabb képet ad a heti horgásztevékenységről.

Az eredményekben napi ingadozást figyeltünk meg, a nyári horgászatnak tulajdonítható havi foszforkibocsátás 1,37 és 4,25 tonna közötti. Az összes szervetlen nitrogén esetében a becsült bevétel havi terhelés 1,21 és 20,32 tonna között mozog. Ez a széles tartomány elsősorban a MONKEY etetőanyagban megfigyelt állandóan magas ammóniumkibocsátásnak köszönhető. Ennél a haleledelnél többször is megismételtük a méréseket és ezen minták hígítására is szükség volt, hiszen az emelkedett ammónium- és foszfátszintekből eredő intenzív elszíneződés korlátozta a mérőeszköz működését.

1. táblázat. Etetőanyagokból származó foszfor terhelés meghatározása
Table 1. Determining the phosphorus load from groundbait

Oldott foszfor mennyiség	
tonna/ év	10,12 tonna
tonna/ 3 hónap	becsült átlag 2,53 tonna

DISZKUSSZIÓ

Az eredmények összehasonlítása

A megállapítások validálása érdekében összehasonlítást végeztünk egy hasonló, bár kevésbé kiterjedt kutatással (*Agroinform 2021*). Az eredményeink nagyjából összhangban voltak, azonban jelen tanulmány kissé magasabb értékeket mutatott, ezek a különbségek valószínűleg az etetőanyag típus vagy a mérési technikák eltéréseire vezethetők vissza. Bár korlátozott információ áll rendelkezésre Dr. Istvánovics Vera véleményéről, amely a Balatoni Limnológiai Kutatóintézethez kötődik (*Szarvas 2021*). A kutató arról számolt be, hogy évente több mint 2 000 tonna haltáp kerül a Balatonba, a közzétett adatok szerint ez körülbelül 8 tonna foszfor, amely tő teljes éves foszforterhelésének mintegy 3%-át teszi ki. A horgászati tevékenységeknek tulajdonítható nettó foszforterhelés a becslések szerint évi 4,8 tonna. Ez az érték figyelembe veszi a halbetelepítéssel kapcsolatos bevételeket, valamint a horgászattal és a haltetek eltávolításával járó kibocsátásokat. A Balaton teljes foszforbevitelét pedig körülbelül évi 165 tonnára becsülte. Továbbá véleménye szerint a halak bevetése ennek az értéknek akár 10%-át is kiteheti. Tanulmánya azonban nem foglalkozott a nitrogén kibocsátások kérdésével (*Agroinform 2021*).

Megoldások és beavatkozási lehetőségek

A legújabb fejlesztések közé tartozik egy többkomponensű adalékanyag kifejlesztése a MATE Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézete által, a Timár Mix Kft-vel együttműködve (*MATE 2021*). Ezt az adalékanyagot úgy tervezték, hogy fokozza a halak anyagcseréjét, miközben csökkenti a szabad ammónia és a hidrogén szulfid felszabadulását, valamint ezzel potenciálisan mérsékli az algavirágzást. A fejlesztések ígéretes lehetőséget kínálnak a szabadidős horgászat környezeti hatásainak minimalizálására. Ezen fejlemények fényében a tanulmány az ilyen adalékanyagok jövőbeni tesztelése mellett érvel, de ezenfelül szabályozási intézkedéseket javasol. Például az etetőanyag használat korlátozását, amelyet egyes magyarországi magánhorgásztavaknál már alkalmaznak a fenntartási költségek és a környezetszennyezés csökkentésének érdekében.

A horgászokat, különösen a nagyszabású horgászversenyeken részt vevő fiatalokat célzó oktatási kezdeményezéseket szintén elengedhetetlennek látjuk. A tápanyagterhelés mérséklésének érdekében fontosnak tartjuk az olyan alternatív horgásmódszerek népszerűsítését melyekhez nem szükséges etetőanyagot használni.

Összefoglalva, a jelenlegi tanulmány eredményei ráerősítenek a szabadidős horgászattal kapcsolatos aggályokra. Különösen a növekvő turizmussal, az etetőanyagok jelentős ökológiai kockázatot jelentenek a Balatonra nézve. El kell ismernünk, hogy a horgászati tevékenységekből származó szerves nitrogén és foszfor bevitel kétségkívül hozzájárul a tóban kialakuló eutrofizációs folyamathoz.

ÖSSZEFOGLALÁS

Ez a tanulmány számszerűsíti a szabadidős horgászati gyakorlat hozzájárulását a Balaton, Közép-Európa legnagyobb édesvízi tavának tápanyagterheléséhez. A partmenti horgásztevékenység növekedésével és a haleledek elterjedt használatával kapcsolatban aggodalmak merültek fel az eutrofizációs folyamatok serkentését illetően.

Megbízható adatok szolgáltatása érdekében ellenőrzött laboratóriumi kísérleteket végeztünk a Balatonból származó vízzel, amelyet különböző típusú etetőanyagokkal kevertünk a tipikus használatra jellemző koncentrációban. A tápanyagkoncentrációkat - beleértve a foszfátot, nitrítet, nitrátot és ammóniumot spektrofotometriás módszerekkel mértük. Az eredmények azt mutatják, hogy ezek a haleledek jelentős mennyiségű tápanyagot juttatnak a vízi rendszerbe. A becsült foszfor bevitel a 0,11 és 0,35 tonna között változik hetente, ami 1,37 és 4,25 tonnának felel meg a vizsgált három hónapos időszak alatt. A szerves nitrogén bevitel pedig 0,10 és 1,69 tonna között változik hetente, ez akár 1,21 és 20,32 tonna is lehet a nyári hónapokban.

Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a szabadidős horgászat jelentős forrása a foszfor- és szerves nitrogén kibocsátásnak, amely jelentősen hozzájárul az eutróf állapotok kialakulásához és azok fokozódásához a Balatonban. A tanulmány hangsúlyozza, hogy szükség van a széleskörű nyilvánosság és lakosság tájékoztatására, a horgászok tudatosságára fejlesztésére, valamint alternatív, ökológiailag fenntartható horgászati gyakorlatok alkalmazására az édesvízi ökoszisztémák tápanyagdúsulásának mérséklése érdekében.

A SZERZŐ



KOVÁCS ROZINA SÁRA a Budapest XIV. Kerületi Teleki Blanka Gimnázium tanulója. Évekig szíamí harcoshalakat, majd mexikói törperákokat tartott otthoni akváriumában. Az akvarisztika során az elsődleges kihívások, amelyekkel találkozott, a vízminőséggel és a víztartályon belüli algásodással voltak kapcsolatosak. Többek között emiatt választotta ezt a témát Tudományos Diákköri munkájához. Szenvedélye a környezettudatosság és a klímaváltozás problémái, valamint a hidrobiológia, de érdekli még a diplomácia is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, a Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszéken belül, intézményi támogatással valósult meg. Külön elismerés illeti mentoromat, Musa Ildikó tanárnőt a kitaratásáért és a projekt elősegítésében tanúsított elkötelezettségéért. A laboratóriumi méréseket elsősorban önállóan végeztem, Horváth Enikő irányításával, aki segített az itt felmerülő kihívások leküzdésében.

A kutatás a Tudományos Diákköri Kutatás 2024 keretében, a BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék támogatásával folyt. Konzulensek: Patziger Miklós és Musa Ildikó.

IRODALOMJEGYZÉK

Agroinform (2021). Rossz hírt kaptak a horgászok: az etetőanyagok használata valóban felelős lehet az algásodásért. <https://www.agroinform.hu/kornyezetvedelem/rosszhirt-kaptak-a-horgaszok-az-etetanyagok-hasznalata-valoban-felelos-lehet-az-algasodasert-49371-001>

MATE (2021). Nemcsak a halaknak, hanem a környezetnek is jó ez az új csali - Agroinform.hu

MOHOSZ (2024). A legnagyobb baráti társaság: 1 millió horgász Magyarországon. <https://nyito.mohosz.hu/index.php/szovetseg/19-kozlemenyek/629-a-legnagyobb-barati-tarsasag-1-millio-horgasz-magyarorszagon>. Letöltés: 2025. 07. 24.

Szarvas Zs. (2021). A kutatók szerint a foszforos csali árt a tónak: haltáp mérgezi a Balaton vizét. <https://www.blikk.hu/aktualis/belfold/foszfor-csali-mergezes-balaton-viz/z4w9cq8>

VGT (2015). Magyarország Vízgyűjtő-gazdálkodási terve VIZEINK.HU – VGT Tájékoztatás és Társadalmi Konzultáció

VKI (2000). Víz Keretirányelv. Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelv (2000. október 23.) a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról http://www.euvki.hu/docs/VKI_en_hu_hivatalos_20040901.pdf

Történelmi pillanatkép

Rovatvezető: Fejér László, címzetes egyetemi docens, a Magyar Hidrológiai Társaság tiszteleti tagja, az MHT Vízügyi történelmi bizottság elnöke.

A „több, mint hidrológus” Zsuffa István életművéről

Albert Gábor^{1,2}

¹ történész, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Víz tudományi Kar (e-mail: albert.gabor@uni-nke.hu)

² tudományos főmunkatárs, Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar (e-mail: albert.gabor@szte.hu)

DOI: 10.59258/hk.20605



Kivonat

Zsuffa István (1933-2004) munkássága, színes személyisége az egykori kortársak és volt diákok emlékezetében ma is elevenen él. Nevét Szakkollégium őrzi a bajai Víz tudományi Karon. Magyarereggyen a Lászlóffy Woldemár Hidrometriai Mérőtelepen az általa vezetett hidrometriai mérőgyakorlataira emlékeztet a 2014-ben felavatott emléktáblája, az NKE Víz tudományi Kar aulájában felállított mellszobra pedig szintén főhajtás az egykori hidrológus emléke előtt. Ez az írás a sokoldalú, human műveltségű szakember szerteágazó munkásságának – szakirodalmi és tudományszervezői tevékenységének és oktatás iránti elkötelezettségének – rövid bemutatására vállalkozik. A címben megfogalmazott „több, mint hidrológus” szóösszetétel is erre utal.

Kulcsszavak

Zsuffa István, hidrológia, hidrometriai mérőgyakorlatok, Magyarereggy, Magyarország.

The legacy of István Zsuffa, who was more than just a hydrologist

Abstract

The work and colourful personality of István Zsuffa (1933-2004) remain alive in the memories of his contemporaries and former students. His name is preserved by the College of Professional Studies at the Faculty of Water Sciences in Baja. In the experimental hydrology station Magyarereggy, Hungary, a memorial plaque inaugurated in 2014 commemorates the hydrometric measurement exercises Zsuffa led at the Lászlóffy Woldemár Hydrometric Measuring Station. The bust erected in the auditorium of the Ludovika University of Public Service's Faculty of Water Sciences in Baja also pays tribute to the memory of this former hydrologist. This article aims to introduce Zsuffa's versatile and humanistic professional activities. The phrase “more than a hydrologist” in the title reflects this sentiment.

Keywords

István Zsuffa, hydrology, hydrometric measurement exercises, Magyarereggy, Hungary.

FORRÁSOK ÉS MÓDSZEREK

Zsuffa István (1933-2004) életútja részben az 1987-es, saját kezű önéletrajza, részben Vágás István (2005) nekrológja segítségével könnyen felidézhető. Az életúthoz Tamás Enikő Anna, az Eötvös József Főiskola egykori Vízépítési és Vízgazdálkodási Intézet intézetigazgatójának 2014. október 18-án, Magyarereggyen elmondott emléktábla avató beszéde (Tamás 2014) további értékes információt nyújt. Szöllősi-Nagy András 2023-as kötetében, sógóról, egyben szellemi példaképéről szintén közvetlen és lényeglátó gondolatokat olvashatunk (Szöllősi-Nagy 2023). A Nemzeti Közzolgálati Egyetem Víz tudományi Karán (NKE VTK) elhelyezett levéltári anyagok közül a pályakezdés szempontjából a Mezőgazdasági Vízgazdálkodási Tanszék korabeli értekezleti jegyzőkönyvei, oktatómunkájához az egykori TDK kimutatások, tudományos előadásaihoz Czédli Györgynek a Vízgazdálkodási

Főiskolai Kar oktató-nevelő, tudományos munkájáról, káder és gazdasági helyzetéről írt 1970-es beszámolója (Czédli 1970) tekinthetők releváns forrásnak. Lászlóffy Woldemár és Zsuffa István életútjának hasonlóságaira, főként a vízügytörténet iránti érdeklődésükre saját írásaik segítségével mutatunk rá. Zsuffa István 1970-es tiszai árvédelemben játszott szerepéről Vágás István, az árvízvédekezés tudományos vizsgálati munkáinak irányítója visszaemlékezése és az Alsó Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság-nál (ATIVIZIG) őrzött Árvédelmi Naplók tudósítanak (ATIVIZIG 1970). Egykori munkatársak (Halász Rudolf, Ijjas István), valamint tanítványok (Márfai László, Csörgő Attila Zoltán, Nagy Sándor) visszaemlékezései pedig tovább színesítik az értékes életutat. A Zsuffa-életút bemutatásánál a kronologikus rendezőelvet követjük, de a történelmi kutatástól néha eltérve, ha az életút mozzanatai megkínájk, élünk az időfelbontás módszerével is.



1. kép. Zsuffa István (Forrás: ifj. Zsuffa István családi fotógyűjteménye)
Photo 1. István Zsuffa (Source: jr. István Zsuffa's family photo collection)

INDÍTTATÁS, SZAKMASZERETET, MŰSZAKI ÉRTELMISÉGI PÁLYA

Az apai örökség meghatározta az ifjú Zsuffa műszaki-értelmiségi pályaválasztását. Zsuffa István 1933-ban Hódmezővásárhelyen, a dél-alföldi mezővárosban született. Édesapja, Zsuffa Kálmán előbb a Kultúrmérnöki Hivatal mérnöke volt és – ahogy azt Zsuffa István 1987-es önéletrajzából tudjuk, – ő tervezte a Hódmezővásárhely-Lúdvári öntözőrendszert (Zsuffa 1987a). 1938-ban Zsuffa Kálmán már a Magyar Királyi Öntözésügyi Hivatalban dolgozott, ahol a Hivatal főmérnökeként a tiszafüredi öntözőrendszert tervezte meg. Ne feledjük, 1920 után Magyarország vízrajzi helyzete megváltozott, a korszak vízgazdasági és öntözéstörténeti szempontból felfelé ívelő, egyben nehézségekkel, kihívásokkal terhelt időszak! Az új mérnökgeneráció jeles képviselője, Sajó Elemér a jövő feladatának mindenekelőtt az alföldi öntözés megvalósítását tekintette. Viszonylag fiatalon bekövetkezett halála miatt viszont a feladat végrehajtása Sajó közvetlen munkatársaira, Lampl Hugóra, Trummer Árpádra, Benedek Józsefre és kollégáira várt. Az Alföld öntözési programja az 1937. XX. tc. megalkotásával kezdődött, végrehajtása pedig az intézményi háttér megteremtésével, a Magyar Királyi Öntözésügyi Hivatal felállításával vált valóra (Fejér és Albert 2025). A Magyar Királyi Öntözésügyi Hivatal első elnöke, a kormányzó által támogatott korábbi agrárminiszter, Kállay Miklós lett. Az a Kállay Miklós, aki 1942 és 1944 között Magyarország miniszterelnökeként vált ismertté. E kulcsfontosságú intézményben dolgozott Zsuffa Kálmán. Az apai örökség, a műszaki-vízügyi pálya – édesapja korai halála ellenére – kijelölte az utat a fiatal Zsuffa István számára is.

Hidrológia és matematika: Zsuffa Istvánnak e két tudományterület iránti elköteleződése egyrészt az egyetemi tanulmányaihoz kapcsolódott, a matematika iránti érdeklődése viszont már a középiskolai éveitől kialakult. Zsuffa István neveltetésére ugyanis a budapesti Piarista Gimnáziumban eltöltött évek, különösen Pogány János tanár úr

matematika órái hatottak legmélyebben. Önéletrajzában „zseniális matematika-pedagógusként” emlékezett vissza a tanító szerzetesrend egykori legendás tanárára (Zsuffa 1987a). Később, egyetemi éveitől a hidraulikában Mosonyi Emil és Salamin Pál professzorok voltak nagy hatással rá, a matematika terén pedig Egervári Jenő és Lovass-Nagy Viktor útmutatásait követte. Saját önéletrajzában kiemelte Papp Ferenc professzor nevét is, aki az általa vezetett tanulmányi kirándulások során a természetjárást összekapcsolta a mérnöki szakmával, ráirányítva a figyelmet arra, hogy „a vízepítő mérnök a természettel foglalkozik, azt ismernie, szeretnie kell” (Zsuffa 1987a).



2. kép: Zsuffa Kálmán, a Magyar Királyi Öntözésügyi Hivatal főmérnöke (Forrás: Zsuffa András családi fotógyűjteménye)
Photo 2: Kálmán Zsuffa, Chief Engineer of the Royal Hungarian Irrigation Office (Source: András Zsuffa's family photo collection)

Néhány további adalék a Zsuffa-képhez, lexikonszerű cikk-szerű felsorolással. 1956-ban a Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett vízepítő szakos mérnöki diplomát. 1962 és 1966 között az ELTE matematika szakán alkalmazott matematikából szerezte másoddiplomáját. Egyetemi doktori címmel (1962), majd kandidátusi fokozattal (1984) és akadémiai doktori címmel (1992) is rendelkezett.

Doktori értekezésének témája a középtávú hidrológiai előrejelzések új módszere volt. 1956 és 1962 között a VITUKI tudományos munkatársaként, 1962 és 1967 között Székesfehérvárott, a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság hidrológusaként dolgozott, 1968-tól 1978-ig az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság osztályvezetője, számítástechnikai központ vezetője, egyidejűleg a bajai Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum, majd a BME Vízgazdálkodási Főiskolai Kar meghívott előadója lett. 1978-tól rövid ideig ismét a VITUKI-hoz, majd 1978-tól 1987-ig a Vízgazdálkodási Intézethez került (Vágás 2005). 1987

és 1992 között – a bajai vízügyi felsőoktatás pécsi intézménytörténeti időszakában, a Pollack Mihály Főiskola Vízgazdálkodási Intézetében – tanszékvezető főiskolai tanár, majd 1992 és 1998 között a Budapesti Műszaki Egyetem Vízgazdálkodási Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára lett (Vágás 2005). Az 1980-as évek végén Zsuffa István aktívan részt vett a Bős-Nagymaros vitában is. Bátor kiállásával – melyek szakmai-közéleti írásaiban nyomon követhetők – védte a vízügyi szakmát (Zsuffa 1988, 1989). 1998-ban vonult nyugdíjba. 2004-ben hunyt el (Vágás 2005).



3.kép: Mosonyi Emil és Zsuffa István (Forrás: Zsuffa András családi fotógyűjteménye)
Photo 3. Emil Mosonyi and István Zsuffa (Source: András Zsuffa's family photo collection)

LÁSZLÓFFY WOLDEMÁR ÉS ZSUFFA ISTVÁN

Mesterei közül Zsuffa Istvánra a legmélyebb hatást Lászlóffy Woldemár gyakorolta. Lászlóffy az 1950-es években a VITUKI vízgazdálkodási osztályvezetője volt, 1956 májusától pedig Zsuffa István is ide került, ahol Lászlóffy mellett hidrológiai feladatokat végzett. Kezdő mérnökként bekapcsolódott a Lászlóffy-féle kutatásokba (Zsuffa 1987a). Mindketten a hidrológia tudományának elismert és szakavatott képviselői voltak. Szöllősi-Nagy András Zsuffa Istvánra utalva írja: „Lászlóffyt kivéve nem ismertem még hidrológust, akinek ennyire fontos lett volna a kísérleti munka. (Szemben Lászlóffyval, Zsuffa mért is...)” (Szöllősi-Nagy 2023). De a múltörzés, a humán tudományok művelése legalább ilyen kötődés volt mindkettőjük életében.

„Tervezés közben döbbsentem rá, hogy a vizek megismerése tulajdonképpen honismeret. Ez a felismerés tett hidrológussá.” – fejezte ki gondolatait Lászlóffy Woldemár egy vele készített 1981-es interjúban (Kósa 1981). A neves hidrológus az 1930-as évek elején a Vízrajzi Intézet teljes könyvvállományát katalogizálta, a könyveket pedig a tudás tárházának tekintette. Mérnökársai ebben az időben tréfásan a „vízügyi lexikon” becenévvel illették. Amikor pedig 1942-ben súlyos betegsége ágyhoz kötötte, Lászlóffy Dante Isteni Színjátékát olvasta (Albert és Farkas 2022). A történelem iránti érdeklődését pedig számos önálló és társszerzős írása jelzi. A hidrometria

magyarországi történetéről Fejér Lászlóval közösen írt, de a reformkor híres vízmérnökéről, Vásárhelyi Pálról, továbbá a Vízrajzi Szolgálat alapítójáról, Péch Józsefről is jelent meg írása (Fejér és Lászlóffy 1986, Lászlóffy 1946, 1979). Sziszifuszi adatfeltáró munkájának eredményeként pedig 1980 és 1982 között készült „A rómaiak hajózása a Tiszán” című tanulmánya is, mely a Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltár (KVL) értékes darabja (Lászlóffy 1982, Albert és Farkas 2022).

A hidrológiát és a vízügyet – Lászlóffyhoz hasonlóan – Zsuffa István is történeti kontextusba helyezte. Egy 1991-es írásából tudjuk, hogy olvasta Széchenyi „Hitel” és „Világ” című művét is. Széchenyi munkájából merítve Zsuffa a jelenre vonatkozó értékálló gondolatokat fogalmazott meg. Széchenyihez hasonlóan a vízgazdálkodás és a környezet kapcsolatát fontosnak tartotta, a természetet szeretve, de a természet részeként az emberi életet védte. Széchenyi a „Világ” című művében az akkori viszonyok között fogalmazta meg ezzel kapcsolatos kérdéseit. Zsuffa István az említett munkájában idézte is a legnagyobb magyart: „A hon vizei korlátlan dühükben mindig öntsék el az ország legtermékenyebb vidékeit? S az örök posványok méreglehelő önkények kint és halált szüljenek?” A „kín és halál” szóösszetétel a maláriára utalt, mely betegség magát az edzett és a kor viszonyai között magas

életszínvonalon élő Széchenyit is hónapokra ledöntötte a lábáról. A malária csak a vízrendezések után tűnt el Európából (Zsuffa 1991).



4. kép. Lászlóffy Woldemár (Forrás: Magyar Környezetvédelmi és Vízügyi Múzeum archívuma)

Photo 4. Woldemar Lászlóffy (Source: Archive of the Hungarian Museum of Environmental Protection and Water Management)

Zsuffa más írásaiban – így könyvismertetéseiben – is többször elidőzött a reformkor vízgazdálkodás politikáján, Vásárhelyi Pál vagy Huszár Mátyás alkotó munkásságán. „A Vízrajzi Szolgálat száz éve” címmel megjelent szakkönyvet Zsuffa az első olyan összefoglaló munkának tekintette, melyben a reformkor neves vízmérnöke, Vásárhelyi Pál mellett Huszár Mátyás is méltó helyen szerepelt (Zsuffa 1987b). „Jó volna tudni, – tette fel a kérdést egy másik recenziójában – hogy Vásárhelyi nyomtatásból ismert akadémiai székfoglalója, akadémiai dolgozatai mikor és milyen formában hangzottak el – minden bizonnyal ezek voltak tudományágunk szóbeli nyilvánosságának első álmomái.” (Zsuffa 1987c). A két könyvismertetése ugyanakkor nem csupán arról árulkodik, hogy Zsuffa István a történeti munkák iránt érdeklődést mutatott, hanem arról is, hogy két mérvadó, ma már forrásértékkel bíró centenáriumi kötetről (Stelczner 1986; Vitális 1987) kötelességének tartotta szakmai álláspontját kifejteni.

„Ismerete – nyelvtudása révén – a hidrológiában élenjáró francia szakirodalmat, a 18. századi Chézy és Poisson munkásságát. Az árvizek valószínűségi eloszlásának legjelentősebb kidolgozói (a francia Gumbel, Fréchet, a szerb Todorovič és az olasz Pareto, stb.) munkáit nemcsak ismertette, de – mellőzve a bonyolult matematikájukat – gyakorlatias, grafikus megoldásukat tanította.” – idézi fel Zsuffa István vízügytörténet iránti elköteleződését az egykori Zsuffa tanítvány, Márfa László (Márfa László szóbeli közlése).

A francia szál – mellyel voltaképpen Lászlóffy követte – vissza-visszatérő motívum Zsuffa történeti írásaiban is. Egy 1995-ös munkájában – azon túl, hogy Bogdánfy Ödön és a meteorológus Anderkó Aurél munkakapcsolatának bemutatásán keresztül azt igazolta, hogy a vízrajzi munka a meteorológiától elválaszthatatlan – példaként Bogdánfy francia tanulmányútját, Charles Ritter francia meteorológussal való életre szóló barátságát is részletesen ismertette. Kvassay Jenő a vízjárás előrejelzés francia módszereinek tanulmányozására kérte fel Bogdánfyt, és nem csupán szakértelme miatt esett rá a választása. A francia kultúrát

mélyen ismerő fiatal mérnök ugyanis Rousseau műveit fordította magyarra, – tudjuk meg Zsuffától (Zsuffa 1995).

Természetjáró szenvedélyét nemcsak Papp Ferenc professzor, de Széchenyi István munkássága is inspirálhatta. Erről ugyancsak írt a fent már citált 1991-es tanulmányában. Zsuffa Széchenyi Naplójából felidézte Széchenyi nagy gyalogtúráit, a Duna-Tisza közti lovastúráit, a Grófnak a Vaskapu munkálatainak helyszíni szemle során történő ellenőrzéseit, s mint írja, e „hajóutak fáradságát nemcsak a munkák előbbrevitele érdekében vállalta, hanem a vizitúra fizikai fáradságát a közelmúlt kiscserkészeihez hasonlóan, a természetjárás velejáró szépségének tartotta.” (Zsuffa 1991).

Zsuffa István a történelem mellett az irodalom, a képzőművészet és a zene iránt is élénken érdeklődött. Álljon itt példaként ugyancsak Márfa László visszaemlékezése: „Az 1969-ben kezdődő iskola-bővítés az FVT (Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum – betoldás AG) épülete mögötti lapos terület feltöltésével kezdődött. Ez a Sugovicából kikötört és csővezetéken kijuttatott vízzel kevert homokkal (zaggyal) – un. hidromechanizációval – történt. A kiülepítő homok között visszaáramló víz szabályos miniatűr „folyóképződést” mutatott. Ezt kívánta Zsuffa tanár úr filmre venni, melyhez narrációs szöveget, zenét és verset is ki akart választani. A lakásán, a hidrológusjelölt hallgatókból összegyűlt „agytröszt” erről ötletelt, amikor Tanár úr (egymás közt csak „Zsuffa Pista”, majd néhányonknak – engedélyével - „Pista bátyám”) először zenének Händel: Vizi zene művét, illetve Smetana: Moldva szimfonikus darabját ajánlotta. Amikor a versre került sor, néhány perc alatt előkereste a falat betöltő könyvespolcra Janus Pannonius egy kötetét, néhány lapozással megtalálva „Az árvíz (De inundatione)” elégiáját, mondván: már akkor is milyen jó leírásokat adtak! Sajnos az ötletből nem lett semmi...” (Márfa László szóbeli közlése)

Bár az ötlet nem valósult meg, Zsuffa tanár úr személyisége és a humán tudományok iránti érdeklődése kirajzolódik előttünk. Sziporkázó szellem, váratlan gondolatársítások! És nem mindennapi humán műveltség zabolázatlan fantáziával párosítva. A falat betöltő könyvespolccal és könyvszeretettel. Egy reneszánsz ember képe bontakozik ki előttünk.

ZSUFFA ISTVÁN ÉS A BAJAI MŰSZAKI-VÍZÜGYI FELSŐFOKÚ KÉPZÉS (OKTATÁS ÉS KUTATÁS)

Zsuffa Török László tanszékvezető hívására 1967 elején kapcsolódott be a Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum Általános és Mezőgazdasági Vízgazdálkodási Tanszék munkájába. Itt a hidrológiát a nappali és a levelező tagozaton egyaránt oktatta (Török 1967). A hidrológia a szaktechnikus képzésben, majd később a főiskolai keretek között induló üzemmérnök képzésben egyaránt fontos, a szilárdságtanhoz vagy a geodéziához hasonlóan alapozó tárgynak számított. A tárgy oktatása az Általános és Mezőgazdasági Vízgazdálkodási Tanszék (később Mezőgazdasági vízgazdálkodási Tanszék) szervezeti keretében történt. A tantárgy fontosságát jelzi, hogy 1968 tavaszán (a II. félévben) Zsuffa István mellett Bánáti Attiláné és Czédli Györgyné oktatók is bekapcsolódtak a tárgy oktatásába (Török 1968).

Érdemes összehasonlítani a Hidrológia tantárgy oktatására fordított teljes óraszámot más alapozó tárgyra fordított

óraszámmal. Az 1970. évi kimutatás szerint a Geodézia és a Hidraulika után a Hidrológia tantárgy rendelkezett a legmagasabb óraszámmal. Míg a Geodézia az alapoó tárgyakra fordított teljes órák 20,2 %-át, a Hidraulika pedig 16,2 %-át, a Hidrológia 14,8 %-át tette ki (*N.n. 1970*).

A Hidrológia tantárgy a szaktárgyak közül elsősorban a Mezőgazdaságtan és a Mezőgazdasági Vízgazdálkodás tárgyak alapozásához járult hozzá. Czédli György 1970. évi beszámolója részletes kimutatást ad mind az öt tanszékről és az egyes tanszékek által gondozott tantárgyak listájáról. A Mezőgazdasági vízgazdálkodási Tanszékhez ekkor a Mezőgazdaságtan, a Mezőgazdasági vízgazdálkodás, a Hidrológia és a Vízgazdálkodási ismeretek stúdiумok tartoztak (*Czédli 1970*).

Zsuffa István olyan hidrológus volt, akinek a terepi munka és az azt követő elemző adatfeldolgozás, a mérés létfontosságú volt (*Szöllősi-Nagy 2023*). Ezért is szerzett az ELTE-n másoddiplomát alkalmazott matematikából. A hidrológiában akkor új módszereket, matematikai modelleket alkalmazott. Az 1960-as években Baján a Magyar Hidrológia Társaság (MHT) bajai csoportja szervezésében „Korszerű módszerek, matematikai modellek alkalmazása a hidrológiában” című ankétsorozat főszerzője volt.

A hidrológia és matematika párhuzamos művelésére hivatalosan viszont 1974-ben nyílt lehetősége. Ekkor az Országos Vízügyi Hivatal (OVH) az ADUVIZIG-ben számítóközpontot hozott létre a főiskola számítástechnikai hátterének megteremtésére (*Zsuffa 1987a*).

Ide kívánczik két észrevétel, mely nem vonatkozik ugyan közvetlenül Zsuffa István életútjához, ám mégis a vele kapcsolatos gondolatok körébe tartozik, méghozzá Dégen Imre és Szent János vonatkozásában.

Zsuffa István Lászlóffy Woldemár hidrológus és Prékopa András matematikus mellett Dégen Imre munkáját is nagyra értékelte (*Szöllősi-Nagy 2023*). A bajai felsőfokú műszaki-vízügyi képzés megszervezésében és működtetésében, az OVH és annak vezetője, Dégen Imre ugyanis elévülhetetlen érdemeket szerzett (*Albert 2025*). Dégen felismerte az 1961-es oktatási törvényben rejlő lehetőségeket és sikerült elérnie, hogy Baja városában felsőfokú vízgazdálkodási technikum kezdje meg működését, azért, hogy a vízügyi ágazat kellő számú és minőségű, elméleti és gyakorlati felkészültségű vízügyi szaktechnikusokat tudjon foglalkoztatni. A műszaki-vízügyi középkaderképzés elkötelezett híve volt. A bajai R-10-es számítóközpont üzembe helyezése újabb példa arra, hogy a vízügyi ágazat és annak első embere elkötelezett híve volt a bajai vízügyi felsőoktatás beindításának, magas színvonalú működtetésének.

A számítóközpont vezetője Zsuffa István lett. 1974-ben az ADUVIZIG-et Szent János igazgató irányította, aki szintén nagyra értékelte a hidrológus mérnök munkáját. A párhuzamos életút és szereplenyomatok Szent János és Zsuffa István között is felismerhetők. Mindketten Hódmezővásárhelyi vízművek voltak. Szent János igazgató egy vásárhelyi vízmester fiaként, Zsuffa műszaki-értelmiségi apa gyermekeként nőtt fel (*Halász Rudolf szóbeli közlése*). Zsuffa mentorairól már írtunk. Szent János osztályfőnöke

Hódmezővásárhelyen a neves író, Németh László volt (*Halász Rudolf szóbeli közlése*).

Zsuffa István a hidrológia mellett 1971 és 1977 közötti időszakban három szemeszteren át az árvízvédelem tárgyat is oktatta (*Zsuffa 1987a*). Zsuffa a tárgy tanításához szükséges gyakorlati tapasztalatokkal is rendelkezett, hiszen az 1970. évi nagy tiszai árvíz idején tevékenyen részt vett az árvízvédelemben. Vágás István – akit az árvízvédekezés tudományos vizsgálati munkáinak vezetésével bíztak meg a nagy árvíz idején – elismerően nyilatkozott Zsuffa szervezőmunkájáról, munkamódszereiről és méréseinek eredményeiről. A bajai hidrológus már a tiszai árvízvédekezés kezdetén felkereste Vágás Istvánt, aki arra kérte Zsuffát, hogy menjen azonnal Makóra, a hídduzzasztás megmérésére. Zsuffa megalakította híressé vált talajfeltáró csoportját, melyhez mérnök, technikus és rajzoló munkaeörk tartoztak. A csoport két–söt gyakran három műszakban dolgozott. A talajfeltáró csoport mérései nyomán „ismerhette fel és közölhette a kontúr-szivárgásnak elnevezett jelenséget: az időszakonkénti töltésbővítések határ-síkjain az egyenlőtlen süllyedésből, illetve zsugorodásból származó hézagokon létrejövő, fokozottabb víz-áramlásokat.” (*Vágás 2005*). A korabeli árvédelmi naplók is rögzítik Zsuffa István töltésfürési munkálatait (*ATIVI-ZIG 1970*). Az árvízvédekezésben kifejtett kimagasló munkájának elismeréseként a bajai mérnök-tanár a Munkáértrend ezüst fokozata kitüntetésben részesült.

Jelentősek Zsuffa felsőoktatási jegyzetei is. 1978-ban a BME Vízgazdálkodási Főiskolai Kar jegyzetként jelent meg a Hidrológia I., majd 1984-ben az intézmény pécsi időszakában a Hidrológia II. (Hidrológiai statisztika) és a „Műszaki hidrológia” című egyetemi jegyzete (*Zsuffa 1978, 1984a, 1984b*). Ő jegyezte a Műegyetemi Kiadó gondozásában 1996 és 1999 között megjelent „Műszaki hidrológia I-IV.” egyetemi tankönyveket is (*Zsuffa 1996, 1997, 1999a, 1999b, Vágás 2005*).

Zsuffa István a tudományos diákköri munkában (TDK) témavezetőként is aktív munkát végzett. Az 1970-es évek elején Orbán Vera mellett a legtöbb témavezetést Zsuffa István vállalta, tudjuk meg a korabeli TDK kimutatásból. 1970. március 12-én 4 diákból a házi TDK-n egynek volt Zsuffa a témavezetője. 1971. április 21-22-én megrendezett házi TDK-n a 8 előadó közül már négynél látta el ezt a feladatot Zsuffa, míg Orbán Vera szintén négy diák konzulense volt. 1971. november 23-án a házi TDK-n résztvevő öt diák közül 3 diák diákköri kutatómunkáját patronálta a bajai hidrológus (*N.n. 1971-1993*.) Növendékei hidrológiai, hidraulikai témákat dolgoztak fel, és matematikai-statisztikai módszerekkel történő hidrológiai vizsgálatokból és árvízvédelmi témából is írtak dolgozatot.

A mérnökképzés szerves részét alkották a mérőgyakorlatok. A hidrometriai mérőgyakorlatokon – melyek kisvízgyűjtő feltárából és nagyvízi mérésekből álltak – a hallgatók a hidrometriai mérések módszereivel ismerkedtek meg, a mérési eredményeket pedig a gyakorlatvezető irányítása mellett kiértékeltek. A kisvízgyűjtő feltárá az 1970-es évektől Magyarereggyre került (*Szlávik 2022*). A mérőgyakorlatokat évtizedeken át Zsuffa tanár úr vezette (*Szlávik 2022, Nagy Sándor szóbeli közlése*). Zsuffa István

– és ezt saját önéletrajza is megerősíti – kollégáival és korábbi tanítványaival a vízgyűjtő-feltárás modellezésén alapuló mérőgyakorlati módszereket dolgozott ki, melyeket folyamatosan fejlesztettek (Zsuffa 1987a).



5. kép. Zsuffa István egy meteorológiai műszerkertben (Forrás: Zsuffa András családi fotógyűjteménye)

Photo 5. István Zsuffa in a hydrometeorological instrument garden (Source: András Zsuffa's family photo collection)

Zsuffa tudományos munkája és szakértői tevékenysége hazai viszonylatban és nemzetközileg is elismert volt. 1960-as évek végétől aktív közreműködője volt az Orlóci István által kezdeményezett területi vízgazdálkodási konferenciáknak (Vágás 2005). Előadóként és szervezőként közreműködött az MHT bajai csoportja által szervezett tudományos ankétokon. Czédli György 1970-es beszámolója az intézmény tudományos munkája között kiemelte az MHT bajai csoportjának aktivitását, külön megemlítve a „Korszerű eszközök, matematikai módszerek a területi vízgazdálkodás gyakorlatában” címmel megrendezett ankétot, melyen több neves előadó (Salamon Pál, Vágás István, Ijjas István) társaságában Török László és Zsuffa István is vett részt előadóként (Czédli 1970). Zsuffa „A kisvízi vízkészlet jellemzése a stochasztikus folyamatok elmélete alapján” címmel ismertette itt a kutatásait. Ijjas István visszaemlékezésében a Perugiában megrendezett nyári egyetemi előadássorozatot említette, ahol Zsuffa István „Modelling Hydrological Extremes for Water Resources Management” című előadásával vett részt (Ijjas István szóbeli közlése). Kutatási eredményei, publikációi nemzetközi mércével is mérhetők. A Gálai-Zsuffa-féle tározásméleti kötet (Gálai és Zsuffa 1987) vagy a Todorovic-Zelenhasic árvízstatisztikai modell hazai bevezetéséről megjelent kutatásai jelzik a szerzőnek a hidrológia tudományához hozzáadott értékét. Külföldi szakértői munkája is jelentős: hidrológus szakértőként Mongóliában, Nigériában, Algériában és Ruandában is dolgozott (Zsuffa 1987a).

A neves hidrológus tudományos közéleti tevékenysége is szót érdemel. A Magyar Hidrológiai Társaságban végzett szakmai munka meghatározó volt Zsuffa István életében. Önéletrajzából tudjuk: 1956 óta volt a Magyar

Hidrológiai Társaság tagja, 1963 és 1968 között a Közép-dunántúli szervezet titkári feladatait látta el, 1987-ben a Hidraulikai és Műszaki Hidrológiai Szakosztály elnökeként tevékenykedett. A Vízügyi Közlemények és a Hidrológiai Közlöny folyóiratok szerkesztő bizottsági tagjaként is dolgozott (Zsuffa 1987a). E szervezeti és szerkesztőbizottsági tagságokat szakmai-közéleti funkciókból eredő elvégzendő feladatoknak tekintette. Munkáját a Magyar Hidrológiai Társaság számos díjjal jutalmazta: 1957-ben Vásárhelyi Pál emléklapot, 1966-ban Péch József oklevelet, 1974-ben pedig Vásárhelyi Pál díjat kapott (Zsuffa 1987a). Elnökként és előadóként rendszeresen részt vett a Nemzetközi Hidrológiai Szövetség kongresszusain, a Magyar Tudományos Akadémia Vízgazdálkodási Bizottsága Hidrológiai Albizottságának pedig aktív tagja volt.

ÖSSZEGZÉS

Mind kortársai, mind egykori diákjai, a „Zsuffisták”, Zsuffa Istvánra, mint nagy műveltségű, igazi tanítóra, a nagybetűs hidrológusra emlékeznek vissza (Halász Rudolf, Márfa László, Csörgő Attila Zoltán szóbeli közlése). „Fontos volt számára a véleményalkotás szabadsága, a tolerancia, a tekintélyelvűség elutasítása.” (Tamás 2014).

A kultúrára való nyitottság jellemezte. Szenvedélyesen szerette a szakmáját. Csakúgy, mint a természetet. A természethez, a terepmunkához való ragaszkodása élete szerkesztésének része volt. Hirdette, hogy a hidrológus a természet mérnöke. Tisztelte diákjait és mestereit egyaránt. Mestere, egyben példaképe iránti megbecsülését igazolja, hogy a magyaregregyi mérőtelep Zsuffa István kezdeményezésére vette fel a Lászlóffy Woldemár nevet, „tisztelgésül a 'magyar föld hidrológusa' előtt.” (Tamás 2014). És az sem lehetett véletlen, hogy 1991. május 3-án a mérőtelepet másik mentora, Mosonyi Emil egyetemi tanár avatta fel. Zsuffa a hidrológia tudományához jelentősen hozzájárult. Életműve önálló és társszerzős cikkeiben, könyveiben, könyvfejezeteiben, egyetemi jegyzeteiben, kézírataiban is megjelenik. Összegyűjtött szakirodalmi munkáit Vágás István 2005-ben e folyóirat hasábjain tette közzé (Vágás 2005).

Köszönetnyilvánítás

Jelen írás a 2025. április 17-én, a Nemzeti Közszerzői Egyetem Vízstudományi Karán, a Zsuffa István Szakkollégiumban elhangzott előadás kibővített változata. A tanulmány a Nemzeti Közszerzői Egyetem Vízstudományi Kar támogatásával készült.

IRODALOMJEGYZÉK

Albert G. (2025). Dégen Imre és a bajai Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum (alapítás és a kezdet) és a bajai Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum (alapítás és a kezdet). Hidrológiai Közlöny. 105. évf., 2. sz., pp. 67-73. <https://doi.org/10.59258/hk.19237>

Albert G., Farkas I. (2022). Vízügy, történeti keretben: A "több, mint kultúrmérnök", Lászlóffy Woldemár Hidrológiai Közlöny, 102(1), pp. 60–64.

ATIVIZIG (1970). Árvédelmi naplók (1970). I.

Czédli Gy. (1970). Beszámoló a Vízgazdálkodási Főiskolai Kar oktató-nevelő, tudományos munkájáról, káder és gazdasági helyzetéről. Baja, 1970. december. NKE VTK VIII. 92. 7.d.

- Csörgő Attila Zoltán szóbeli közlése. 2025. április 14.
- Fejér L., Lászlóffy W. (1986). A hidrometria magyarországi fejlődése (1700-1945). Vízügyi Történeti Füzetek 13. VIZDOK, Budapest.
- Fejér L., Albert G. (2025). Két Magyarország vízügyei – Kvassay Jenő és Sajó Elemér munkásságának tükrében. XVIII. Tudomány- és Technikatörténeti Konferencia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság – EMT, Kolozsvár. ISSN 2734-732X, pp. 2-7.
- Gálai, A., Zsuffa, I. (1987). Reservoir sizing by transition probabilities. Theory-Methodology-Application Water Resources Publication. Littleton - Fort Collins, Colorado, USA
- Halász Rudolf szóbeli közlése. Baja, 2025. március 11.
- Ijjas István szóbeli közlése. Velence, 2025. május 21.
- Kósa Cs. (1981). A vízepítő országot épít. Beszélgetés Dr. Lászlóffy Woldemárral. Magyar Vízgazdálkodás, 1981. évi 9. sz., pp. 20-22.
- Lászlóffy W. (1946). Vásárhelyi Pál, a honfoglaló (rádió-előadás). KVL XXXI. 8. Lászlóffy Woldemár iratai.
- Lászlóffy W. (1979). Péch József és munkájának emlékezete születésének 150. évfordulójára. A Vízügyi Közlemények 1979. évi 1. füzetéből készült különlenyomat. KVL XXXI. 8. Lászlóffy Woldemár iratai. /Péch József 1829-1902 iratok/
- Lászlóffy W. (1982). A rómaiak hajózása a Tiszán. KVL XXXI. 8. Lászlóffy Woldemár iratai.
- Márfai László szóbeli közlése. Baja, 2025. március 10.
- N.n. (1971) Mellékletek. Tantárgyak megoszlása. 1205/70. 1206/70. 1207/70. NKE VTK VIII. 92. 7. d.
- N.n. (1971-1993) TDK Kimutatás NKE VTK VIII. 92. 16. d.
- Nagy Sándor szóbeli közlése. Szolnok, 2025. február 15.
- Stelczer K. (1986). A Vízrajzi Szolgálat száz éve. Budapest. p.123.
- Szlávik L. (2022). A bajai vízügyi felsőoktatás 60 éve (1962-2022). A Nemzeti Közzolgálati Egyetem Víz tudományi Kar kiadványa. Felelős kiadó: Bíró Tibor dékán.
- Szöllősi-Nagy A. (2023). Az előrejelzés nehéz dolog, különösen ha a jövőre vonatkozik. Typotex, p. 408, Budapest.
- Tamás E.A. (2014). Zsuffa István professzor emléktábla avató beszéde. Kézirat. Magyarereggy, 2014. október 18.
- Tanszéki értekezleti jegyzőkönyvek (1967-1972). (1967. február 18. 1968. január 17.). NKE VTK VIII. 91. 14. d.
- Török L. (1967). Jegyzőkönyv. Készült az Általános és Mezőgazdasági Vízgazdálkodási Tanszék 1967. február 18-án tartott tanszéki értekezletén. Baja, 1967. február 20.

- NKE VTK 91. 14. d. Tanszéki jkv. 1965-1972.
- Török L. (1968). Jegyzőkönyv. Készült az FVT. Ált. és Mezőgazdasági Vízgazdálkodási Tanszékén, 1968. január 17-én tartott tanszéki értekezletén. NKE VTK. 91. 14. d. Tanszéki jkv. 1965-1972.
- Vágás I. (2005). Dr. Zsuffa István (1933-2004). Hidrológiai Közöny. 85. évf. 4. sz. pp. 9-13.
- Vitalis Gy. (1987). A 70 éves Magyar Hidrológiai Társaság múltja és jelene. 1917-1987. Magyar Hidrológiai Társaság. Bp. p. 142.
- Zsuffa I. (1978). Hidrológia I. BME Vízgazdálkodási Főiskolai Kar jegyzete. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Zsuffa I. (1984a). Hidrológia II. (Hidrológiai statisztika). Pollack Mihály Műszaki Főiskola Vízgazdálkodási Int. jegyzete. Tankönyvkiadó, Bp.
- Zsuffa I. (1984b). Műszaki hidrológia. Pollack Mihály Műszaki Főiskola Vízgazdálkodási Int. jegyzete. Tankönyvkiadó, Bp. 1984.
- Zsuffa I. (1987a). Zsuffa István saját kezű önéletírása (1987. március 9.). Kézirat.
- Zsuffa I. (1987c). A 70 éves Magyar Hidrológiai Társaság múltja és jelene. Hidrológiai Közöny, 5-6. sz. pp. 339-342. (Könyvismertetés)
- Zsuffa I. (1987b). A Vízrajzi Szolgálat száz éve. Hidrológiai Közöny 1. sz. pp. 57-58. (Könyvismertetés)
- Zsuffa I. (1988). Kell a nyilvános vita. In. Merre lépünk? Vélemények Bős-Nagymarosról. Magyar Nemzet. 1988. szeptember 8. p. 6.
- Zsuffa I. (1989). Vita? Álvita. Hidrológiai Közöny, 69. évf. 3. sz.
- Zsuffa I. (1991). A vízgazdálkodás és a természet Széchenyi korában és ma. Vízügyi Közlemények. LXXIII. évf. 3-4. füzet. pp. 237-244.
- Zsuffa I. (1995). Bogdánfy Ödön, Anderkó Antal hidrológus partnere. Léggör, 1995. 1.
- Zsuffa I. (1996). Műszaki hidrológia I. (Szerk.: Bezdán Mária). Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- Zsuffa I. (1997). Műszaki hidrológia II. (Szerk.: Bezdán Mária). Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- Zsuffa I. (1999a). Műszaki hidrológia III. (Szerk.: Bezdán Mária, Tóth Károly). Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium Országos Vízügyi Főigazgatósága, Budapest.
- Zsuffa I. (1999b). Műszaki hidrológia IV. (Szerk.: Bezdán Mária, Tóth Károly). Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium Országos Vízügyi Főigazgatósága, Budapest.

A SZERZŐ



ALBERT GÁBOR történész, 2003-ban fejezte be PhD doktori tanulmányait az ELTE BTK XIX-XX. századi Magyar Történeti Doktori Iskolában, 2016-ban az egri Eszterházy Károly Főiskolán habilitált neveléstudományokból. A Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar tudományos főmunkatársa, a Fekete Gyula Intézménytörténeti Kutatási Program és Intézménytörténeti Kutatócsoport vezetője. A Nemzeti Közzolgálati Egyetem Víz tudományi Karán a Kar jogelőd intézményeinek komplex történeti kutatását végzi. Kutatási területe: agrárszakoktatás-történet, vízügy-történet, intézménytörténet. 2023-tól tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.

Események



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG XLII. Országos Vándorgyűléséről számolunk be, melyet Székesfehérváron, a Sóstói Stadionban, valamint az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karán tartottak.



„Mindent meg kell tennünk vízkészletünk védelmében!”

MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG XLII. ORSZÁGOS VÁNDORGYŰLÉS SZÉKESFEHÉRVÁR, 2025. július 2-4.



1. fotó. Az MHT XLII. Országos Vándorgyűlésének ünnepi megnyitója (Fotó: Fehér Gábor)
Photo 1. The opening ceremony of XLII. Annual National Conference of Hungarian Hydrological Society
(Photo: by Gábor FEHÉR)

2025-ben a Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) XLII. Országos Vándorgyűlésének Székesfehérvár adott otthont. A vízügyi szakma minden területéről mintegy 350 résztvevő regisztrált a gazdag szakmai kiállítással egybekötött Vándorgyűlésre.

A Sóstói Stadionban rendezett első napon, az eseményindító plenáris ülésen, dr. Váradi József társelnök megnyitóját követően dr. Cser-Palkovics András, Székesfehérvár Megyei Jogú Város polgármestere, Gacsályi József, az Országos Vízügyi Főigazgatóság műszaki főigazgató-helyettese, dr. Szepes András, a Fejér Vármegyei Mérnöki Kamara elnöke, valamint Horváth Angéla, a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság igazgatója, egyben az MHT Közép-dunántúli Területi Szervezetének vezetőségi tagja üdvözölte a Vándorgyűlés résztvevőit.

A plenáris ülést követően került sor az MHT 2025. évi nívódíjainak átadására, melyet a Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság és az ELCOM Kft. „Megújuló energiára alapozott, költséghatékony vízpótlás a Tisza-Túr tározó területén” című pályázata, valamint dr. Szanyi János és dr. Almási István „Hydrogeology of the Pannonian Basin” (A Pannon-medence hidrogeológiája) című, angol nyelven

megjelent könyve nyerte el. A könyv részletes bemutatója a „Könyvismertetés” rovatunkban olvasható.

A vándorgyűlés központi témája ezúttal a „víz értékének” körüljárása volt. Ezért is a rendezvény plenáris előadását dr. Windisch László, az Állami Számvőszék elnöke tartotta „Vízgazdálkodás és vízügyek” címmel, majd dr. Bíró Tibor egyetemi tanár, az MHT alelnöke következett, aki a víz árának megjelenését elemezte, mind a települési, mind a területi vízgazdálkodás körében. Ebéd után a „víz ára értéke” címmel pódiumbeszélgetés következett, ahol a települési- és a területi vízgazdálkodás közgazdasági kérdéseit dr. Pogácsa Zoltán közgazdász moderálása mellett vitatták meg a szakemberek.

Az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karának épületébe rendezett második napon, hat témakörben tartottak szekciós üléseket.

Vízkérelhárítás szekció

A szekció levezető elnöki feladatait Abonyi Csaba és Göncz Benedek látta el. 2024-ben, a több mint tíz esztendő árízmentes időszakot követően a Duna-völgyben jelentős árhullámok vonultak le és a Pinka-patakon megdőlt az eddig regisztrált legmagasabb vízállás (LNV). A legér-

dekesebb árvízvédekezési tevékenységekről tartott beszámoló mellett az árhullámok kialakulásának és levonulásának a körülményeit részletesen feltáró és bemutató előadásokat láthattunk. Az elhangzottak rávilágítottak arra, hogy az elmúlt évtizedben megvalósított árvízvédelmi fejlesztések jelentősen hozzájárultak az érkező árhullámok elleni hatékony és sikeres védekezéshez. Ugyanakkor arra is láthattunk modelleket a Felső Tiszai vészárapasztó tározók üzemrendjének a kialakítása, vagy a Mosoni-Duna torlói mű mértékadó árvízszintekre gyakorolt hatásának vizsgálata példáján, hogy a tapasztalatokat széles körben felhasználva, az eredményeket célirányosan kiértékelve, milyen lehetőségek adódnak a jövőbeli feladataink meghatározására.

Nagy tavaink megfelelő kezelése továbbra is jelentős, sok teendőt adó és gondolkodást igénylő vízgazdálkodási feladat, legyen szó a víz minőségi, illetve mennyiségi kérdéseiről, vagy akár a partok hullámszél elleni védműveit alapvetően meghatározó hullámfelfutás jellemzőinek a meghatározásáról.

2025 májusában történelmi kisvizet észleltek folyóinkon, ami megerősíti azokat a megállapításokat, hogy a klímaváltozás hatásaként számolni kell a szélsőséges hidrológiai jelenségek előfordulási gyakoriságának a megnövekedésével. A rendkívül alacsony vízállások előfordulását azonban nem csak az érkező víz mennyisége, hanem a folyómedrek alakulása is alapvetően meghatározza. Az ebben a témakörben elhangzott előadások nyomán betekintést nyerhettünk a Tisza folyó hosszú távon bekövetkezett mederváltozásaiba, az elvégzett folyószabályozási tevékenységek hatásmechanizmusába. Az aktuális morfológiai változások jellemzését elősegítő új módszertant is megismerhettünk a folyók hordalékhozamának a meghatározására.

A Tiszát 2000-ben ért súlyos ciánszennyezés évfordulója kapcsán az akkori események rövid összefoglalása, a környezeti katasztrófa legfontosabb tanulságai és az elmúlt 25 évben végrehajtott intézkedések is bemutatásra kerültek.

Vízkészlet-gazdálkodás szekció

A Sütheo László vezette szekcióban a beérkezett munkákból a vándorgyűlésen 20 dolgozat bemutatására volt lehetőség, amelyek közül 11 a felszíni, 9 pedig a felszín alatti vízkészlet-gazdálkodással foglalkozott, bár szorosan vett határvonalat sok esetben nehéz lett volna meghúzni. Kiemelt téma volt a klímaváltozás okozta hatások elemzése és a felszíni-, felszín alatti víz kapcsolatának vizsgálata különböző hidrológiai helyzetekben, de megjelent a termálvíz-hasznosítás kérdésköre is. Örömteli volt, hogy a legtöbb esetben több szerző közreműködésével készültek az előadások, és láthatóan sokszor szorosan együttműködtek az egyetemi kutatók és a gyakorlati vízügyi szakemberek, valamint tetten érhető az is, hogy a fiatalok is egyre gyakrabban, egyre magasabb színvonalú dolgozatokkal jelentkeznek ezekben a témakörökben.

A témaválasztások időszerezését az is visszaigazolta, hogy a szekció előadásait szinte folyamatosan 40-50 fős hallgatóság kísérte figyelemmel. A feszes program mellett szerencsére volt idő kérdések és hozzászólások

megfogalmazására is. A szekció, egy tagtársunk javaslatára egy olyan tartalmú ajánlást is megfogalmazott, miszerint a vízkészletek pontosabb feltárása érdekében növelni kellene az olyan monitoring helyek számát, ahol a vízmennyiség mérésére lehetőség van, illetve szorgalmazni kell a vízhasználatok minél pontosabb mérését és az ehhez kapcsolódó részletes adatszolgáltatást, hogy a vízkészlet-gazdálkodás fenntarthatóságát elérjük, illetve megőrizzük.

Területi vízgazdálkodási szekció

A szekciót dr. Váradi József és dr. Bíró Tibor vezette. A szekció témáit a „*víz a tájba*” probléma feldolgozása uralta, azt a kérdést is vizsgálva, hogy a vízügyi szolgálat mit tesz a vizek visszatartása elérése, megoldása érdekében. Volt azonban olyan dolgozat is, amely szerint nem a vízügynek kell paradigmát váltani, hanem a területhasználattal kell a vízvisszatartást elérni. Ennek alátámasztására került bemutatásra a 2007-ben, a „*belvízreform*” keretében, egy mintaterületen kipróbált vízvisszatartási program, amely gazdaságilag is kimutathatóan igazolta a vizek visszatartásának létjogosultságát. Több dolgozat érintette a tervezési eszközök és a módszertani fejlesztések szükségességét, különös tekintettel egy vízalapú klímadaptáció és a területi vízgazdálkodás tervezésének összehangolására.

A szekcióülésen figyelemre méltó volt az előadók fegyelmessége a megszabott előadási idő betartásában. Beigazolódtott ugyanis, hogy 15 percben, lényegre törő előadás technikával teljességgel ismertetni lehet a kutatást. Azt is láttuk, hogy a fiatal, kezdő előadónak jó terep ez a tapasztalatszerzésre, elvégre az MHT-nak ez az egyik alapfeladata.

Települési vízgazdálkodás szekció

A Kassai Zsófia vezette települési vízgazdálkodás szekcióban összesen 12 darab, rendkívül színvonalas előadás hangzott el. A szekció első felében a csapadékvíz-vezetés, a városi klímastratégia és a települési árvízvédelmi kérdések kerültek megtárgyalásra. A szekció második felében a szennyvíztisztítás aktuális kihívásai kerültek terítékre, kiemelve az új szennyvíz direktíva (2024/3019 EU irányelv) által megfogalmazott elvárásoknak való megfelelés lehetőségeit is.

Vízhasználat és környezete szekció

A szekciót dr. Szalma Elemér és dr. Engloner Attila elnökölte. A szekció meghirdetett főbb témakörei ebben az évben is széles spektrumot öleltek át a vizes élőhelyek hidrológiai, vízminőségi és üzemeltetési problémáitól különböző élőlénycsoportok (baktériumoktól a hódokig) kutatásán keresztül egészen a természethelyreálítási megoldásokig.

A beérkezett jelentkezésekből 15 előadás bemutatására volt lehetőség, az előadók között egyaránt megtalálható volt a fiatal, pályája elején levő és a sok évtizedes tapasztalattal rendelkező kolléga. Utóbbiak közül Fejes Lőrinc „A 10 éves Kiskörei Hallépcső létesítése és üzemeltetése” című, gazdag fotó dokumentációval tarkított előadásával ragadta magával a zsűfólig megtöltött előadótermet. Az érdeklődést jól mutatta, hogy szinte minden előadás „teltház” előtt zajlott, a terem megtelt érdeklődő szakemberekkel.

Víz, mint megújuló energia szekció

A szekciót dr. Rátky István és Németh József vezette. Telitalálat volt a szekció témaválasztása, vagyis a víz mint megújuló energia kiemelése: azon belül is a geotermikus energia, a szivattyús energia-tározás és a napelemes-szivattyús vízenergia hasznosítás. Nem sikkadt el a környezeti hatások elemzése és azok mérséklésének vizsgálata sem. Ha csak a dolgozatok kifejező címeit olvassuk; összességében a téma összetettségét, a szinergiái hatásokat és a nélkülözhetetlen együttműködés fontosságát láthatjuk bizonyítottnak.

A záró plenáris ülésen dr. Váradi József társelnök rövid értékelése után a szekcióvezetők által elismerésre érdemesnek ítélt dolgozatok szerzőinek a Magyar Hidrológiai Társaság elismerő oklevelet adott át. A kitüntetettek névsora itt olvasható: *XLII. Országos Vándorgyűlés – Székesfehérvár, 2025. július 2-4. – Hidrológiai társaság.*

Zárásként Szilágyi Attila, az MHT Közép-Duna-völgyi Területi Szervezetének vezetőségi tagja hívta meg a szakembereket Gödöllőre, a 2026. évi XLIII. Országos Vándorgyűlésre, ahol a házigazda szerepet az MHT Közép-Duna-völgyi Területi Szervezete, valamint az OVF Üzemi Szervezete tölti be.

A második napot egy vezetett séta zárta, ahol a résztvevők Székesfehérvár nevezetességeivel ismerkedhettek meg.

A harmadik napon, a szakmai tanulmányút keretében a résztvevők először előadást hallhattak Gilián Zoltántól, a Fejérvíz Zrt. üzemmérnökség vezetőjétől, majd szakmai vezetéssel tekinthették meg a székesfehérvári szennyvíztisztító telepet. Ezt követően látogatást tettek a Siófoki víztoronynál, majd a szakmai programot a Sió-zsilip szakmai vezetéssel egybekötött megtekintése zárta.



2. kép. A szakmai tanulmányút résztvevői a Sió-zsilipnél (fotó: Hamar Barbara)
Photo 2. Participants of the professional trip at the Sió-lock (Photo by Barbara HAMAR)

A vándorgyűlés dolgozatait tartalmazó tanulmánykötet az alábbi linken érhető el: *XLII. ORSZÁGOS VÁNDORGYŰLÉS - Székesfehérvár, 2025. július 2-4.*

dr. Major Veronika
a Hidrológiai Közlöny főszerkesztője

Események



Születésnap és tudományos életmű: Padisák Judit professzor asszonyt köszöntjük 70. születésnapja alkalmából.

Padisák Judit köszöntése 70. születésnapja alkalmából



Dr. Padisák Judit (akadémikus, limnológus, egyetemi tanár) 1955. október 1-jén született Budapesten. Édesapja Padisák Mihály író, szerkesztő, rádiós műsorvezető. Édesanyja Paál Rózsa a könyvszakma jeles alakja. Padisák Judit a gimnáziumi tanulmányait az ELTE Radnóti Miklós Gyakorlóiskolában végezte, ahol 1974-ben érettségizett. 1978-ban házasságot kötött G.-Tóth Lászlóval (hidrobiológus, mélytengerkutató). Három gyermekük született Marcel, Kamilla és Franciska. 1979-ben szerzett okleveles biológus diplomát hidrobiológia-mikrobiológia specializáción az Eötvös Lóránd Tudomány Egyetem Természettudományi Karán. Egyetemi tanulmányai során került a MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézetébe nyári gyakorlatra. A korszak olyan limnológus „nagyasszonyaival” találkozhatott és dolgozhatott együtt, mint Sebestyén Olga és Tamás Gizella. Az Intézetben első feladata már az algákhoz, a fitoplankton mennyiségi viszonyainak tanulmányozásához kapcsolódott és ez a munka egész életében központi szerepet töltött be. A diploma megszerzése után az ELTE Állatrendszertani és Ökológiai Tanszék tudományos segédmunkatársaként dolgozott 1981-ig és ezzel párhuzamosan az Egeri Tanárképző Főiskola budapesti kihelyezett tagozatán is tanított. Doktori fokozatát 1980-ban szerezte. Ezt követően 1982-1993 között a Magyar Természettudományi Múzeum kurátora volt. A múzeumban Pantocsek József kovaalga gyűjteménye mellett az egyik legrégebbi anyag köthető a nevéhez, több, mint 200 preparátumot készített. Eközben 1991-ben megszerezte kandidátusi címét. 1994-ben Tihanyba került az MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézetébe, ahol tudományos főmunkatársként dolgozott. 1999-ben megszerezte MTA doktora címét, disszertációjának címe „Szukcesszió és diverzitás sekélytavi fitoplankton társulásokban” volt. Még ebben az

évben dr. Hlavay József a Környezettudomány szak alapítója meghívására az akkori Veszprémi Egyetemen (ma Pannon Egyetem) folytatta pályafutását, ahol tudományos főmunkatársként (1999-2000), tudományos tanácsadóként (2001) dolgozott és egyetemi tanárként (2002-) dolgozik mind a mai napig. 1998-ban habilitált. A Pannon Egyetemen eltöltött évek alatt mindvégig vezető beosztást kapott, intézetigazgató (2002-2022) és kutatócsoport vezető volt. 2016-ban az Academia Europea rendes tagjának választották és 2019-ben az Magyar Tudományos Akadémia levelező, 2025-ben rendes tagjává választották. Székfoglaló előadását „A mintázatelemzéstől a folyamatok megértésig” címmel tartotta meg. Jelenleg a Pannon Egyetem Limnológia Kutatócsoportjának valamint a HUN-REN-PE Limnológia Kutatócsoport vezetője.

Kutatási tapasztalatát külföldön is bővítette. Több hónapot töltött Ausztriában (Biological Station Illmitz), ahol a Fertő fitoplanktonjának hosszútávú változásait vizsgálta. Svédországban (University of Uppsala, Erken Laboratory) az Erken-tó fitoplanktonját, míg Németországban (Leibniz Institut für Inland Waters and Fishery, Neuglobsow) a Stechlin-tó fitoplanktonját kutatta. Eljutott egészen Brazíliáig (University of São Carlos, Federal University of Minas Gerais), ahol a trópusi fitoplankton ökológiában mélyült el.

Kutatómunkája során abból a megközelítésből indult ki, hogy a vizek mikrobiális közösségeinek szerveződése és működése nem különbözhet a szárazföldi rendszerekétől, mivel az ökológia törvényei mérettől függetlenül univerzálisan érvényesek. Azonosította a vízi és szárazföldi ökoszisztémák működésének alapvető elemeit, és így párhuzamot talált a szárazföldi élővilág és a fitoplankton között, annak ellenére, hogy ezek teljesen különböző méretű és időskálán működnek. Bátrán alkalmazta a szárazföldi növényzet szukcessziós modelljeit a fitoplanktonra, illetve a köztes diszturbancia hipotézist a fitoplankton diverzitás változásainak megértésére.

Kiemelkedő eredményeket ért el a fitoplankton funkcionális csoportjainak és jellegeinek fontosságának felismerésében, meghatározásában és a fitoplankton ökológiában való alkalmazásában. Megmutatta, hogy ezek a csoportok és jellegek nemcsak a fitoplankton közösségek szerveződésének megértését segítik elő, hanem alapul szolgálhatnak olyan ökológiai állapotértékelési módszerek kidolgozásához, amelyekkel számszerűen leírható a vízminőség. Ezzel megtette az első lépést felszíni vizeink megőrzése felé.

Padisák Judit nemzetközi szinten a legelismertebb tudósok közé tartozik és központi szerepet játszik a jövő ökológusainak képzésében és mentorálásában négy

kontinensen. Tanítványai szemében, ő a nagybetűs TANÁR. Limnológia tankönyve (2005) a legfontosabb irodalmak közé tartozik. Mentorálási stílusát a bátorítás és a magas színvonal jellemzi. Tudományba vetett hite, szeretete és a tudomány iránti alázata példa mindenki számára. Támogatásával tanítványai valóban szakemberekké váltak a saját területükön. Több, mint 30 hallgatója szerzett PhD, öt tanítványa pedig MTA doktora fokozatot. Sokan közülük ma saját országukban kutatócsoportokat és tanszékeket vezetnek, és kulcsszerepet játszanak az oktatásban, a kutatásban és a gyakorlati hidrobiológiában.

Hiteles előadásai, melyek több évtizedes kutatási tapasztalatán és számos megoldott problémán alapulnak, mindig mély nyomot hagynak a hallgatóságban. A figyelmet magával ragadó és el nem engedő előadásai tudományos mélységük ellenére mindig jól érthetők. Ennek is köszönhető, hogy számos külföldi egyetemen is, mint a University of Uppsala (Svédország), University of Copenhagen (Dánia), Royal Danish School of Pharmacy (Dánia), University of Wisconsin (USA), University of Buenos Aires (Argentína), University of Padova (Olaszország), University of Palermo (Olaszország), Technische Universität Cottbus (Németország), Babeş-Bolyai University (Románia), University of Vienna (Ausztria), Federal University of São Paulo (Brazília), Federal University of Minas Gerais (Brazília) tartott előadást, szemináriumot. Vendégprofesszor volt a University of Uppsala (Svédország), Federal University of Rio de Janeiro (Brazília), Federal University of São Paulo (Brazília), University of the Republic (Uruguay), Jinan University (Kína) egyetemeken.

Rendkívül aktívan vesz részt a tudományos közéletben. Hazai és nemzetközi tudományos és felsőoktatási bizottságokban bizonyította és bizonyítja mind a mai napig fáradhatatlan tenni akarását: a MTA Doktori Tanács tagja (2020-2023), MTA Veszprémi Területi Bizottság elnöke (2020-2023), MTA Ökológiai Tudományos Bizottság tagja (2013-) és elnöke (2014-2020), MTA Környezet és Egészség Osztályközi Állandó Bizottság tagja (2017-), Országos Tudományos Diákköri Tanács Biológiai Szakmai Bizottság tagja (2000-) és elnöke (2012-2023), MTA Környezetbiológiai Tudományos Bizottság tagja (2011-

2013), MTA Hidrobiológiai Bizottság tagja (1997-2011), MTA Általános Mikrobiológiai Bizottság tagja (1994-2006), MTA Elméleti Biológiai és Tudománytörténeti Bizottság tagja (1993-1994), MTA VEAB Föld-, Környezettudományi és Energetikai Szakbizottság tagja (1997) és elnöke (2011-2017), OTKA Szupraindividuális Zsűri tagja (1998-2002, 2014-2020), Biodiverzitás Platform Tanácsadó Bizottság tagja (1996-2002), MAB Föld- és Környezettudományi Bizottság tagja (1997-2010) és elnöke (2007-2010), MAB Doktori Bizottság tagja (2007-2010), MAB Plénium tagja (2007-2010), MAB Természettudományi Bizottság tagja (2010-2012), Országos Doktori Tanács tagja (2018-) és alelnöke (2018-2021, 2021-), Kuffer Alapítvány Kuratórium tagja (2018-2022), Journal of Phycology szerkesztőbizottsági tagja (1992-), Hydrobiologia szerkesztőbizottsági tagja (1995-2002) és szerkesztője (2003-), Freshwater Reviews szerkesztőbizottsági tagja (2007-), Otto Kinne Foundation kuratórium tagja (2003-2019), Societas Internationalis Limnologiae (SIL) (tag 1978-; alelnök 2007-2013).

Padisák Judit életét a nyitottság, a tudományos kiválóság, az intellektuális nagylelkűség és az ökológia fejlődése iránti rendíthetetlen elkötelezettség jellemzi, melyet elnyert díjai is igazolnak: Eötvös Loránd-érmek (1979), Az Év Kutatója (1998), Széchenyi professzor ösztöndíj (2000-2003), Mestertanár Aranyérem (OTDK) (2009), A Magyar Érdemrend lovagkeresztje (2010), Jubileumi Ezüstérem (OTDT) (2011), Környezetünkért Emlékplakett (2016), a Mérnök Kar Kari Tanácsa a Mérnöki Kar Kiváló Oktatója (2020), Schafarzik Ferenc-érmek (MHT) (2020), Cholnoky-érmek (2021), Máriáss Antal-érmek (2021), Prima Díj (Veszprém megye) (2022) és a Magyar Ökológiáért emlékérem (2024).

Ezúton tisztelgünk akadémikus asszony szakmai pályája előtt és köszöntjük 70. születésnapja alkalmából. Jó egészséget, sok boldogságot kívánunk neki családjá és szerettei körében és további aktív alkotó éveket kívánunk!

*Stenger-Kovács Csilla, Buczkó Krisztina,
Borics Gábor*

Könyvismertetés



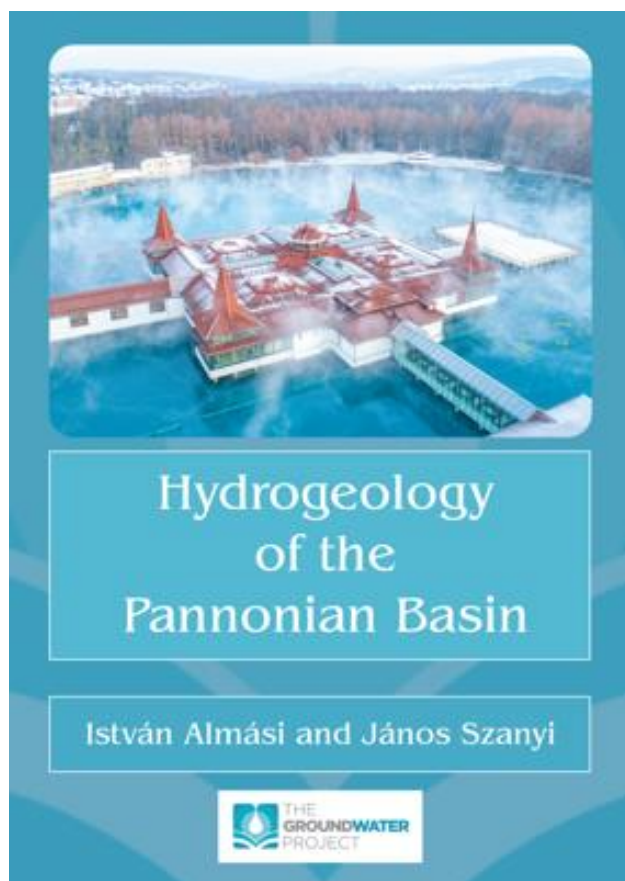
Almási István és Szanyi János (2021): Hydrogeology of the Pannonian Basin

Kiadó: The Groundwater Project, Guelph, Ontario, Canada, 2024.

Nyomtatott verzió: 73 oldal <https://doi.org/10.21083/978-1-77470-044-0>

A „Hydrogeology of the Pannonian Basin” (A Pannon-medence hidrogeológiája) című könyv a „The Groundwater Project” által készített, „Important Aquifer Systems of the World” (A világ jelentős víztartó rendszerei) című könyvsorozat része, mivel a Pannon-medence a világ egyik legösszetettebb üledékes víztartó rendszere, melyen kilenc ország osztozik.

A „Groundwater Project” a felszín alatti vizekkel kapcsolatos problémák megoldása és a felszín alatti vízzel kapcsolatos ismeretek közérthetőségének a javítása érdekében 2017-ben létrejött nonprofit szervezet, melyet dr. John Cherry vezet. Célja eléréséhez kiváló minőségű, a felszín alatti vizekkel kapcsolatos tananyagokat készít és tesz ingyenesen elérhetővé számos nyelven, amelyek a weboldaláról letölthetők (www.gw-project.org), köztük ez a könyv is.



A szerzők – Almási István és Szanyi János – célja: történeti szemszögből bemutatni a Pannon-medence felszín alatti vizeivel kapcsolatos ismeretek fejlődését és megértetni, hogy a mozgó felszín alatti víz földtani tényezőnek tekinthető, ugyanis képes hőt és anyagot mobilizálni, szállítani és lerakni. A könyv elsősorban Magyarországra fókuszál, ami a Pannon-medence területének

közel háromnegyedét foglalja el, és egyben kitekintést ad a szomszédos országok hidrogeológiájára is, mivel a Pannon-medencében található Európa legtöbb határral osztott vízbázisa.

A könyv nyolc érdemi fejezetre oszlik, kiegészülve a leírtak megértését elmélyítő gyakorlatokkal és azok megoldásával is.

Az első négy fejezet bemutatja a hidrogeológiai környezetet – a geológiát, a domborzatot és az éghajlatot –, amely meghatározta, hogy ezek az összetett hidrogeológiai jellemzők, beleértve a geotermikus adottságokat is, hogyan alakultak ki, hogyan maradtak fenn és hogyan hasznosították őket közel két évezred alatt. A fontosabb események kronológiáját egy szemléletes ábrán ismertetik. Rámutatnak, hogy az ivóvízkészletek bősége mellett a Pannon-medence leginkább a geotermikus kutak és gyógyfürdők sokaságáról, valamint a geotermikus energia modern felhasználásáról híres. Bemutatja, hogy a Pannon-medence középső részén két, egymásra rétegződő áramlási rendszer van: egy gravitáció által vezérelt felső áramlási rendszer és egy túlnyomásos mély áramlási rendszer. Az áramlási rendszerek létének igazolására korábbi publikációkból származó izotóp és vízkémiai vizsgálatok eredményeit ábrázolják közérthetően. Itt jegyzem meg, hogy a könyv ábraanyaga kiértékel, esztétikus, nagyban segíti a leírtak megértését, továbbá a szerzők igen széleskörű irodalmi feldolgozást végeztek.

A negyedik fejezet végén részletesen ismertetik dr. Tóth József gravitációs áramlási rendszerekre vonatkozó elméletét, aki 1960-ban vándorolt ki Magyarországról Kanadába, ahol elindítója volt a gravitáció által vezérelt felszín alatti vízármlási rendszerekről való modern gondolkodás kialakításának. Tóth József személye más okból is meghatározó, a szerzőpáros ugyanis 30 éve közösen vett részt Tóth József professzor hidrogeológia kurzusán, ahol szoros barátság és munkakapcsolat alakult ki köztük.

A könyv második felében a vízhasználatok típusait és időbeli változását, a geotermikus energia hasznosítás fajtáit és annak hatásait a felszín alatti vizekre tárgyalják. Az olaj-hidrogeológiai fejezetben részletesen ismertetik a szénhidrogének és a felszín alatti vizek áramlásában lévő hasonlóságokat és különbségeket, felhívva a figyelmet, hogy gyakran ugyanabban a rezervoárban fordulnak elő, ami különösen a geotermikus energia közepes és nagy entalpiájú hasznosítása során nem nélkülözhető információ. A túlnyomásos rendszereket is az elmúlt évszázadban végzett kőolajkutatások során fedezték fel.

Összességében a könyv igen hasznos anyag lehet az egyetemi oktatásban, talán még az érdeklődő középiskolások számára is. Közérthető összefoglalását adja a Pannon-medence közel két évszázados hidrogeológiai ismereteinek. Sőt, várható a könyv magyar nyelvű fordításának kiadása is, ami minden bizonnyal még szélesebb olvasóközönséget fog vonzani!

A szerzőkkel együtt arra ösztönzöm az olvasókat, hogy forgassák haszonnal ezt a könyvet és további izgalmas részleteket fedezzenek fel erről a medencéről és a

sok helyen határoló mészkőhegységek határterületén történő geotermális folyamatokról.

A könyv letölthető az alábbi linken: <https://gw-project.org/books/hydrogeology-of-the-pannonian-basin/>

Jó olvasást kívánunk!

Lénárt László

A Magyar Hidrológiai Társaság XLII. Vándorgyűlésén átadott 2025. évi nivódíjat Szanyi János és Almási István „Hydrogeology of the Pannonian Basin” (A Pannon-medence hidrogeológiája) című, angol nyelven megjelent könyve kapta meg, melyhez gratulálunk!



1. kép. Az MHT elnöke és főtitkára a könyv szerzőinek átadja a 2025. évi nivódíjat (Fotó: Szabó Péter, KDTVIZIG)
Photo 1. The President and Secretary General of MHT presents the 2025 Quality Award to the authors of the book (Photo: Péter Szabó, KDTVIZIG)

Könyvismertetés



Dr. Szlávik Lajos szerk.: A vízügyi szolgálat 70 éve (1953-2023)
Vízügyi Közlemények különszám, Budapest
Nyomtatott verzió: 612 oldal

612 oldal! Tekintélyes könyv, keménytablába kötve, nem az a klasszikus folyóirati különszám! Több annál, egy monográfia!



Amikor két évvel ezelőtt, 2023. október 2-án egy ünnepség során a szónokok, *Láng István* OVF főigazgató és *dr. Váradi József*, az OVF Vízügyi Tudományos Tanácsának elnöke megemlékeztek az évfordulóról, akkor elhatározás született, hogy a jeles eseményről a szolgálat szakfolyóirata, a Vízügyi Közlemények különszámot jelentessen meg. Ha az akkori elképzelés az első nekifutásban egy kissé testesebb lapszámban gondolkodott, hamar kiderült, hogy a hét évtizedre való visszatekintésnek nem csupán az ünnepi beszédek kell tartalmaznia, hanem célszerű az eltelt idő szakmai történetét is göröcső alá venni. Mert van miről számot adni! Különösen egy olyan időszakban, amikor a vízügyi szolgálat feladatai és szervezete – kormányzati intézkedést követően – a Belügyminisztériumtól átkerült az Energiaügyi Minisztérium felügyelete alá. Az új helyzetben ésszerű döntés volt alaposabban áttekinteni a hetven év vízügyi történetét, számot vetve a sikerek és kudarcok tapasztalataival, s lehetőleg minél több adatot szolgáltatni mindazok számára, akik fontos kérdésekben döntési helyzetbe kerülnek.

A különszám anyagának összegyűjtését, megírását és kiadvánnyá szerkesztésének nehéz feladatát *dr. Szlávik Lajos* vette vállára. Részfeladatok tekintetében segítségére voltak: *Fejér László*, *Pesél Antal*, *Reich Gyula* és *dr. Váradi József*.

Munkájuk nem lehetett volna eredményes, ha nem vették volna igénybe a 12 vízügyi igazgatóság adatközlőinek közreműködését.

Tekintettel arra, hogy az egységes vízügyi szolgálat kialakulásának gyökerei sokkal régebbi időkre vezethetők vissza; így az érdemi tárgyalás közel 15 oldalon keresztül egészen 1953-ig, az előzmények rövid összefoglalásával kezdődik. A 70 éven belül is komoly cezúra váltás következett be 1990-ben. Ezért célszerű volt a szakmai fejlődést két részletben tárgyalni, a rendszerváltás előtti, szocializmus korszakában történtek, illetve az azt követő, máig terjedő időszak eseményeit összefoglalni. Az első korszakkal közel 65 oldalon foglalkozik a kötet, míg az 1990 utáni szakmatörténeti viszonyokról 270 oldalnyi szöveg, táblázat, térkép és egyéb megértést segítő illusztráció.

ráció ad számot. A gondos szerkesztési elveknek köszönhetően nem csak a szakágazatok tevékenységének fejlődésére tért ki a szerzők figyelme, hanem az intézményrendszer alakulására, az ezeket befolyásoló jogszabályi változásokra, valamint az igencsak fontos nemzetközi vízügyi kapcsolatokra, a vízügyi kutatás, oktatás-képzés helyzetére és a vízügyi feladatokkal kapcsolatos szakmai szervezetek tevékenységére is. Nagyon tanulságos, hogy a kiadvány lapjain megjelenik az állami feladatok ellátásának szakemberi háttere, a közfoglalkoztatási rendszer tanulságainak elemzése, s a létesítmények fenntartási és üzemeltetési ráfordításainak alakulása.

Az országos áttekintéseket a területi vízügyi szervezetek, az igazgatóságok bemutatása kíséri mintegy 70 oldal terjedelemben. Miközben nagyon sok hasonlóság van az egyes igazgatóságok feladatai között, addig minden egyes „vizig”-nél eltérő a szakfeladatok hangsúlya. És ez teljesen természetes, hiszen az igazgatóságok területi „kiosztása” nem a megyehatárok közigazgatási gondolkodását követi, hanem a vízgyűjtőterületi elvet. A szerkesztés során arra is ügyeltek, hogy minden egyes igazgatóság kronológiai szerkezetben mutassa be saját fejlődésének „mérőköveit”. Ugyancsak a kötet adatgazdagságához járul hozzá, hogy – a minisztériumoktól az igazgatóságokig – minden szervezet szakmai vezetőinek nevét (élőket és elhunytakat egyaránt) táblázatokba foglalva közreadják, beosztásuk kezdő- és befejező időpontjával együtt.

A monográfiában eddig említett tárgyalási részt a gazdag melléklet állomány teszi teljessé. Itt kapott helyet a szolgálat 1948-2023 közötti kronologikus eseménytörténete; a nevezetes és országos jelentőségű vízkárelhárítási események rövid összefoglalói; a vízügyi igazgatóságok területét, működését, valamint tevékenységét jellemző alapadatok; a vizekre vonatkozó jogszabályok listája; a nagyon fontos fogalommeghatározások; a rövidítések jegyzéke; a forrásmunkák.

A szolgálat történetének bemutatását követően helyet kapott a kötetben az 50 éves Magyar Környezetvédelmi és Vízügyi Múzeum (az esztergomi Duna Múzeum), illetve a Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltár rövid története is.

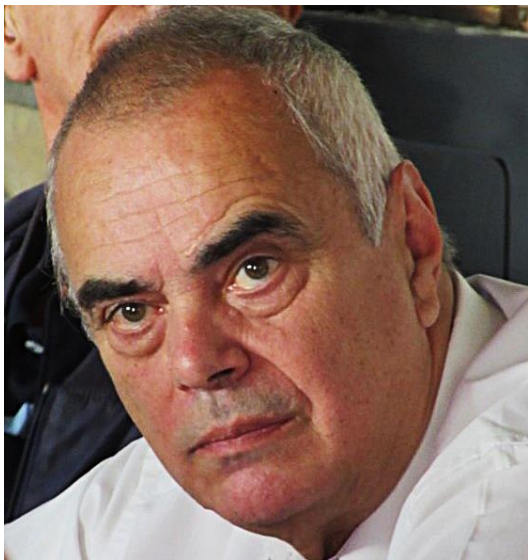
A kiadvány szerkesztője és munkatársai kezdettől tisztában lehettek azzal, hogy munkájuk nyomán nem egy izgalmas bestseller fogja elhagyni a nyomdagépet, hanem egy olyan kiadvány, amit a szakemberek az íróasztaluk melletti polcon fognak tartani, s azt nem egy ültő helyükben fogják végigolvasni, hanem időről-időre leemelik a polcról, utána néznek egy-egy adatnak, vagy szaktörténeti eseménynek.

Ha ezt a feladatát a kiadvány teljesíteni fogja, akkor nem volt hiábavaló mindazok szorgos munkája, akik segítettek létrehozni ezt a szakmatörténeti kötetet, a Vízügyi Közlemények 2024. évi különszámát!

Jó olvasást kívánunk!

Fejér László

Nekrológ



1967-ben, a budapesti Műegyetem építőmérnöki diplomájával – mint beosztott mérnök – a Betonútépítő Vállalatnál talált magának munkát. A műszaki gyakorlatban megszerzett ismereteivel felvértezve 1972-ben a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóságon helyezkedett el, és különböző beosztásokban dolgozott. Jellemző, hogy a későbbi vízügyi igazgatók azon csoportjába tartozott, akik végigjárták a ranglétrát, és amikor igazgató lett teljes áttekinthetőséggel rendelkezett az irányítása alá tartozó szervezet munkájáról. Kezdetben a Főépítésvezetőségen dolgozott, mint építésvezető-főelőadó. Tehetsége és vezetői alkalmassága hamar kiderült és 1975. április 25-étől kinevezték az Igazgatóság I. sz. szakaszmérnökségének vezetőjévé. Óvatos szakember volt. Mielőtt a szokásos őszi felügyeleti bejárások az általa irányított területen megtörténtek volna, előzetesen végigjárta a védvonalat, valamennyi szakemberrel, gátörrel áttekintette, tisztázta a helyzetet. Tanácsot adott nekik, milyen problémákat tárnak a felügyelő hatósági emberek elé, s mi az, ami nem tartozik azokra. „Ha kérdeznek valamit, akkor az a legjobb, ha igennel, vagy nemmel felelünk. Ha bármi egyéb szövegbe belekezdünk, akkor már további kérdések várhatók, amiből ritkán jöhetünk ki jól!” Beosztottjai nyugodt, kompromisszumkereső embernek ismerték meg, aki még a feszült helyzetekben sem kiabált senkivel, hanem azon volt, hogy a kiadott feladat elvégzéséhez minden támogatást megadjon munkatársainak. Talán ennek is köszönhető, hogy viszonylag hamar, 1979. február 1-től feljebb lépett a ranglétrán és a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság termelési igazgató-helyetteseként 12 éven át az igazgatóság műszaki-operatív működéséért, a kivitelezési és fenntartási munkák megszervezéséért, valamint a végrehajtás ellenőrzéséért felelt. Ebben a beosztásában nem vonhatta ki magát a bős-nagymarosi vízlépcső építési munkáiból sem, hiszen azokban valamennyi dunai és egyes tiszai igazgatóságoknak is részfeladatai voltak. Beosztott helyt állt ezen a téren is, hiszen munkája szakmai meggyőződéssel is egyezett. Tevékenysége és emberi

Kabay Sándor

(Kolozsvár, 1944. július 22. - Budapest, 2025. augusztus 28.)

magatartása eredményeként Kiváló Munkáért kitüntetésben részesült 1980-ban, majd 1988-ban is. 1982-ben az Országos Vízügyi Hivatal elnökétől az Elnöki Elismerést vehette át. Munkáját nem csak a vízügyi ágazat értékelte magas szinten, hanem szélesebb környezete is. Ezt bizonyítja, hogy a Főváros akkori vezetése 1979-ben Budapestért Kitüntető jelvényt adományozott részére.

A rendszerváltást követően a vízügyi szolgálaton belül valamennyi vízügyi igazgatót lemondatták és pályázatot írtak ki az igazgatói posztokra. Ennek eredményeként 1991. április 1-től kinevezték az KDVVIZIG igazgatójának, amely feladatát egészen 2009. május 31-ig, nyugdíjba vonulásáig ellátta. Kivételesnek tekinthető az ilyen hosszú időszak egy vízügyi igazgató életében, hiszen szakmai körökben köztudomású volt, hogy a budapesti igazgatók cserélődnek a leggyakrabban. Mint a KDVVIZIG vezetője nem volt könnyű helyzetben. Működésének ideje alatt – a vízügyi szolgálat utóbbi fél évszázados történetét tekintve – talán a legtöbb szervezeti változást kellett átélnie és végrehajtania. Kifelé talán kevésbé mutatta, de mindez nagyon megviselhette lelki és testi egészségét. A szakmai és vezetői lépcsőfokokat végigjárva, a teljes rendszert jól megismerve, igen nagy gyakorlati tapasztalattal és kiváló területismerettel rendelkezett mind az irányítás mind pedig a végrehajtás területéről – ami munkájában is naponta megmutatkozott. Nyugállományba vonulását követően, 2010-ben az ágazatot irányító miniszter a legmagasabb ágazati szakmai kitüntetéssel, a Vásárhelyi Pál-díjjal ismerte el munkásságát. Jellemző, hogy visszavonulása után is az árvízes időszakokban szükség volt szakmai tapasztalataira, így gyakran hívták vissza szakértőként a rendkívüli ár- és belvízes esetekben. Legutóbbi állami kitüntetését – nyolc évvel nyugdíjba vonulását követően – 2017-ben kapta, amikor a vízügyi ágazatban végzett több évtizedes, magas színvonalú szakmai munkája és példamutató vezetői tevékenysége elismeréseként a köztársasági elnök a Magyar Érdemrend polgári tagozatú lovagkeresztjét adományozta részére.

A vízügyi szolgálatban végzett feladatain túl, több mint két évtizeden keresztül külsős óraadó volt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen.

Igen szerteágazó szakmai tevékenysége mellett jelentős időt és energiát fordított a karitatív tevékenységre is. Különös empátiával foglalkozott a szellemileg fogyatékos gyermekekkel, amely munkásságáért 2009-ben Arany Szív-díjban részesítette a százhalombattai „Sérültekért Alapítvány”.

Most, hogy végleg eltávozott körünkől, hiánya egyre inkább érződik mindannyiunkban, akik ismertük és elismertük teljesítményét, emberi magatartását.

Nyugodjék békében!



Fejér László