

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY

HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 104. ÉVF. 3. SZÁM • 2024
JOURNAL OF THE HUNGARIAN HYDROLOGICAL SOCIETY • VOL. 104, ISSUE 3 • 2024



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

A HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY ELŐFIZETÉSE

A <https://www.hidrologia.hu/megrendelo-lap/> címen található űrlap kitöltésével és visszaküldésével megrendelhető nyomtatott formában a Magyar Hidrológiai Társaság szaklapja, a Hidrológiai Közlöny.

A kiadvány 2024. évi előfizetői díjai az alábbiak:

cégeknek 1-4. szám: 13 200 Ft/év

egyéni tagoknak 1-4. szám: 5 200 Ft/év

(Az árak az 5% áfát tartalmazzák.)



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

Halupka Gábor, Rácz Tibor, Gelybó Györgyi, Waltner István:
Természetalapú vízviszatarthatási módszerek dombvidéki
környezetben magyar és angol esettanulmányok tükrében 4

Tombor Eszter, Korponai János, Szabó Zoltán, Szalai Zoltán, Kóbor
István, Magyarai Enikő Katalin: A sekély Pátkai-tározó ökológiai
állapotváltozásainak nyomon követése az üledék árvízszennyező-
fauna (Diptera: Chironomidae) vizsgálata alapján 18

Pásztor Dávid, Fehér Zsolt, Tamás János: Integrált vízgazdálkodás
a természeti és társadalmi folyamatok tükrében a Tisza-Körös
völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer területén 30

Vörös Lajos, Tóth György István, Látrányi-Lovász Zsófia, Somogyi
Boglárka: A balatonvíz sótartalmának hosszútávú változása
(1891-2022) 48

FÓRUM

Ungvári Gábor, Báder László: Egy felvetés és egy körkérdés: a kék
és zöld vízforgalom, valamint az éghajlati vízhiány egységes
szemléletében való kezelése 61

Belényesi Pál: Vízgazdálkodási és víziközműreform Magyarországon
– Átfogó megközelítés és javaslatok 67

Zsuffa István, Szöllősi-Nagy András, Bogárdi János: Megszólalunk,
mert megszólítottunk – Reflexiók Nagy Boldizsár könyvére 77

ÉLETUTAK

Ijjas István, Major Veronika: A Magyar Hidrológiai Társaság
(MHT) külföldi tiszteleti tag kitüntetésben részesítette
Johannes Wessel professzort! 82

NEKROLÓG

Ress Sándor – Rákosi Judit és Tombác Endre megemlékezése 83



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 KERESKESNÉ 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 SZÚCS, 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

Gábor HALUPKA, Tibor RÁCZ, Györgyi GELYBÓ, István WALTNER: Nature-based water retention methods in a hilly environment in the light of Hungarian and English case studies ... 4

Eszter TOMBOR, János KORPONAI, Zoltán SZABÓ, Zoltán SZALAI, István KÓBOR, Enikő Katalin MAGYARI: Changes in the ecological conditions of the shallow artificial Pátkai reservoir, based on the study of the chironomid fauna (Diptera: Chironomidae) 18

Dávid PÁSZTOR, Zsolt FEHÉR, János TAMÁS: Integrated water management reflecting natural and social processes in the area of the Tisza-Körös Valley Cooperative Water Management System..... 30

Lajos VÖRÖS, György István TÓTH, Zsófia LÁTRÁNYI-LOVÁSZ, Boglárka SOMOGYI: Long term changes of salinity in Lake Balaton (1891-2022) 48

FORUM

Gábor UNGVÁRI, László BÁDER: Proposal for discussion: the management of blue and green water circulation and climate water scarcity in a unified approach 61

Pál BELÉNYESI: The timely reform of water management and water supply networks in Hungary – A holistic approach with recommendations 67

István ZSUFFA, András SZÖLLŐSI-NAGY, János BOGÁRDI: We are responding because we have been addressed – Reflections on the book of Boldizsár NAGY 77

LIFE PATHS

István IJJAS, Veronika MAJOR: The Hungarian Hydrological Society (MHT) honoured Professor Johannes Wessel with an honorary foreign member award 82

OBITUARY

Sándor RESS – Commemoration by Judit RÁKOSI and Endre TOMBÁCZ 83

Cover photo: Lake Tisza, a UNESCO World Heritage Site
(tiszataviokocentrum.hu)

Előszó



Címlapunk az UNESCO Világörökségének helyszínét, a víztározóból kialakult Tisza-tó mozaikos táját mutatja, ahol számtalan sziget, holtág, és sekély kis csatorna váltja egymást a hatalmas, nyílt vízterületekkel. Címlapunknak az is aktualitást ad, hogy a

Magyar Hidrológiai Társaság XLI. Vándorgyűlését hatalmas érdeklődés mellett Szolnokon rendezték meg, ahol a szakmai kirándulás egyik különlegessége a Tisza-tó volt.

A Hidrológiai Közlöny 104. évfolyamának (2024) 3. száma a víztudomány széles skáláját mutatja be a szakmai közleményekben a természetalapú vízviszatarítási módszerektől egészen a víziközmű reformot célzó javaslatokig.

Halupka Gábor, Rácz Tibor, Gelybó Györgyi és Walter István a „Természetalapú vízviszatarítási módszerek dombvidéki környezetben magyar és angol esettanulmányok tükrében” című közleményükben a villámárvizek kártételei miatt egyre nagyobb teret kapó természetalapú megoldásokat (TAM, illetve NBS: Nature Based Solutions) mutatják be. A dombvidéki környezetben hatékonyan alkalmazható beavatkozások alacsony létesítési és fenntartási költségű, valós alternatívákat kínálnak a hagyományos műtárgyak mellett.

Különleges módszer, hogy egy tározóból vett üledékfurat árvaszűnyog-faunájának vizsgálatával feltárhatjuk a vízminőség időbeli alakulását és a tározó életének fontosabb állomásait (leeresztés, algavirágzások). *Tombor Eszter, Korponai János, Szabó Zoltán, Szalai Zoltán, Kóbor István és Magyarai Enikő Katalin* „A sekély Pátkai-tározó ökológiai állapotváltozásainak nyomon követése az üledék árvaszűnyog-fauna (Diptera: Chironomidae) vizsgálata alapján” című közleménye a múlt eseményeinek feltárásával ad javaslatot a Pátkai-tározó bekapcsolására a Velencei-tó vízpótlási lehetőségei közé.

Pásztor Dávid, Fehér Zsolt és Tamás János az „Integrált vízgazdálkodás a természeti és a társadalmi folyamatok tükrében a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer területén” című dolgozatukban a MIKE Hydro River és a MIKE SHE hidrológiai modellek bemenő adatainak előkészítését ismertetik, mely információ a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) területén, a régióban tervezett mezőgazdasági vízgazdálkodás informatikai fejlesztése szempontjából döntő fontosságú. Az eredmények azt mutatják, hogy a hidrológiai modellezés jelentős potenciált rejt a me-

zőgazdasági vízgazdálkodási beavatkozások optimalizációjában és alapvető eszköz lehet a környezeti kihívásokra adott válaszok kidolgozásában.

A Balaton egészen az 1980-as évek elejéig édesvízű tó volt, de ma már édes-sós átmeneti vízű. Ezt a folyamatot mutatja be *Vörös Lajos, Tóth György István, Látrányi-Lovász Zsófia* és *Somogyi Boglárka* „A balatonvíz sótartalmának hosszútávú változása (1891-2022)” című közleményükben egy 131 évet felölelő adatbázis elemzésével.

A FÓRUM rovatunk, rendeltetésének megfelelően teret ad különleges, vagy néha meghökkentő szakmai vitáknak, eszmecsereknak. Ne feledjük, a konstruktív vita a szakma javára szolgál!

Ungvári Gábor és *Báder László* „Egy felvetés és egy körkérdés: a kék és zöld vízforgalom valamint az éghajlati vízhiány egységes szemléletében való kezelése” című közleményük kapcsán kérdezik olvasóink véleményét! Kérjük, kapcsolódjon be a vitába és mondja el véleményét!

Belényesi Pál vitaindító írása a „Vízgazdálkodási és víziközműreform Magyarországon – Átfogó megközelítés és javaslatok” címmel a vízgazdálkodás és a víziközmű reformját célozza.

Egyedi eset, mikor a FÓRUM rovat egy könyvbemutatóval indít! *Zsuffa István, Szöllősi-Nagy András* és *Bogárdi János* „Meggzólalunk, mert meggzólítottunk – Reflexiók Nagy Boldizsár könyvére” című írásukban *Nagy Boldizsár* „Bős-Nagymaros: nemzetközi jog, politika, környezetvédelem” című könyvében megfogalmazott kritikákra reagálnak. Ezért itt, a FÓRUM rovatban mutatjuk be a könyvet a Gondolat Kiadó ajánló szavainak idézésével.

Nekrológ rovatunkban Rész Sándortól, az Öko Zrt. vezérigazgatójától, okleveles közgazdától búcsúzunk, aki mind a vízügyi ágazatban, mind pedig a környezetvédelemben is ismert, elismert, jó értelemben befolyásos szakemberként és nagyra becsült vezetőként tevékenykedett.

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

A Hidrológiai Közlöny 2024-től kicsit kinyitja a kaput és külön kötetben angol nyelvű közleményeket is közzétesz. A közlési útmutató (<https://tinyurl.com/5c32k7br>) alapján várjuk a magyar nyelvű dolgozatokhoz hasonló, magas tudományos színvonalú angol közleményeket is! *Good luck!*

Dr. Major Veronika
a Hidrológiai Közlöny főszerkesztője

Természetalapú vízvisszatartási módszerek dombvidéki környezetben magyar és angol esettanulmányok tükrében

Halupka Gábor¹, Rácz Tibor¹, Gelybó Györgyi¹, Waltner István¹

¹ Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék, Környezettudományi Intézet, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő (e-mail: Halupka.Gabor.Erno@uni-mate.hu, Racz.Tibor@uni-mate.hu, Gelybo.Gyorgyi@uni-mate.hu, Waltner.Istvan@uni-mate.hu)

DOI:10.59258/hk.16459



Kivonat

Közleményünk egy külföldi és egy hazai esettanulmány segítségével kívánja ráirányítani a figyelmet a területi vízvisszatartásban alkalmazható természetalapú megoldások (TAM, illetve NBS: Nature Based Solutions) létjogosultságára és hatékonyságára, dombvidéki környezetben. A közölt fotóillusztráció segítségével bemutatjuk a leggyakrabban használt módszereket, azok működését, vízvisszatartásra gyakorolt hatását. A bemutatott megoldások vízmegtartó, árvízcsúcs-símitó hatékonyságát a megvalósult terepi mérési kampányok grafikus értékelései teszik egyértelművé, érthetővé. A kisléptékű, így esetenként jelentős számú beavatkozás a helyben elérhető, természetes nyersanyagokra támaszkodik. Az alacsony költségű létesítés és fenntartás valós alternatívát kínál a betonműtárgyak mellett, vagy azok helyett. Mivel a tervezési időszak során a helyi közösségek véleménye és terepi tapasztalata is beépítésre kerül, ezért e megközelítés a társadalmi bizalom mellett a közösségi aktivitást is serkenti.

Kulcsszavak

Vízvisszatartás, dombvidék, természetalapú megoldások, kisléptékű beavatkozás, természetes nyersanyag, alacsony költség, társadalmi bizalom.

Nature-based water retention methods in a hilly environment in the light of Hungarian and English case studies

Abstract

This article aims to demonstrate the validity and effectiveness of nature-based solutions (NBS) for field water retention in a hilly environment through a case study from abroad and one from Hungary. The most commonly used methods, their functioning and their impact on water retention are reviewed with the help of photo illustrations. The effectiveness of the solutions presented in terms of water retention and flood peak attenuation is made clear and understandable through graphical evaluations of the field measurement campaigns carried out. The small-scale, and thus sometimes significant, interventions rely on locally available natural resources. Low-cost construction and maintenance offer a real alternative to or instead of concrete structures. As local communities and their field experience are incorporated during the design phase, this approach also stimulates social trust and community activism.

Keywords

Water retention, upland, nature-based solutions, small-scale intervention, natural resource, low cost, social trust.

BEVEZETÉS

A vízvisszatartás jelentőségére a 2022-es év aszálya (<https://www.ovf.hu/hu/hirek-ovf/2022-evi-aszaly-ertekelese-a-tortenelmi-adatok-tukreben>) egyértelműen felhívta a figyelmet: ha nem tároljuk az éghajlatváltozás következtében ritkábban, ám egyre intenzívebb formában hulló csapadékot (*Nemzeti Fejlesztési Minisztérium 2017*), akkor – elsősorban a csak időszakosan fedett, mezőgazdasági művelés alatt álló – talajok nedvességtartalma számottevően csökkenhet (*Horel és társai 2022*), ezzel veszélybe sodorva a mezőgazdasági termelést éppúgy, mint a természetes, vagy épp az ember által ültetett vegetációt (erdőket). Emellett az intenzív formában érkező csapadék megtartásának fontos nyeresége lehetne, hogy ezzel csökkenthető az erózió romboló hatása is, amely a talajlehardás révén valós kockázatot jelent a mezőgazdaság, illetve az elavult szemléletű (pl. tarvágást alkalmazó) erdőgazdálkodás számára (*Olajosné 2021*).

A vízvisszatartás gyakorlati megoldásai jelentősen különbözhetnek, függően a lokális domborzati, csapadék, és talajtani-földtani tulajdonságoktól, vagy akár gazdálkodási jellemzőktől (*European Commission: Jaritt és társai 2016, Olajosné 2021*). E sokváltozós feltételrendszer azt sugallja,

hogy elsősorban helyről helyre, és kisléptékben (településszinten, kistérségben, ám vízgyűjtőben gondolkodva) adható releváns válasz, ha a kérdés a hatékony vízvisszatartás, eróziómegelőzés. Ugyanakkor az is kulcskérdés, hogy a mindenkori gazdák megértik-e a vízmegtartó beavatkozások szükségességét, hasznát, hosszú távú (pozitív) hatásait. Ezért rendkívül fontos a helyi közösségek bevonása.

Közleményünkben olyan kisléptékű vízvisszatartó, természetalapú megoldásokat mutatunk be, amelyek sikerességük révén igazolták létjogosultságukat a helybeli gazdálkodók számára éppúgy, mint a döntéshozók előtt, akik ily módon nem pusztán támogatták, de közre is működtek létesítésükben, majd fenntartásukban.

A bemutatásra kerülő külföldi és hazai példa többféle gazdálkodási, éghajlati, talaj- és földtani szituációt érint, amelyek rávilágítanak a gyakorlati módszerek, és kifejtett hatásai sokféleségére is. A két példa azonban abban közös, hogy e módszerekkel a dombvidéki területeken felmerült, vízmegtartással, illetve lefolyással, erózióval, villámárvíz-eseménnyel kapcsolatos problémákra adtak választ.

Bár a cikk írásakor saját, kapcsolódó kutatási adatok még nem állnak rendelkezésre, mégis úgy véljük, hogy e

példáknak olyan szemléletformáló szerepe van, amely túlmutat a konkrét beavatkozási területeken, és ösztönzőleg hathat a kisléptékű vízmegtartó megoldások megismerésére, hazai elterjedésére.

VÍZVISSZARTARTÁSI MÓDSZEREK DOMBVIDÉKEN

A dombvidéken hulló csapadék be nem szivárgó részének sorsa erőteljesen függ a domborzati jellemzőktől, a lefolyó csapadékvíz (*felszíni lefolyás*) helyben tartása nem magától értetődő feladat. A felszíni lefolyás és beszivárgás aránya ingadozni fog, függően a talaj- és lejtés-, valamint csapadékviszonyoktól, illetve a csapadékintenzitás időbeli mintázatától, röviden az eseményprofiltól (*Dunkerley 2021*). Emellett természetesen számos, egyéb paraméter is szabályozza a beszivárgás-lefolyás jelenségegyüttest, így az intercepció, a késleltetett párolgás, a felszínborításból származó lefolyási tényező, de természetesen az adott talaj/laza üledék permeabilitása, porozitása is.

A lokális beavatkozások esetében nem egyértelmű a mérnöki gyakorlatban elterjedt merev vasbeton vagy falazott műtárgyak alkalmazhatósága, mivel építésük jelentős beavatkozást jelent az anyagok beszállítása, a megfelelő alapozás és építés helyigénye miatt; emiatt ezen megoldások nem adnak megfelelő választ a kisléptékű beavatkozás konkrét igényére; különösen, ha a természet- és környezetvédelmi szempontok is prioritást élveznek (v.ö.: *Pataki és társai 2021/a*, *Balatonyi és társai 2022*). De akkor milyen módszerek vehetők be eredményesen a gyakorlatban? A következő példák, mint esettanulmányok számos kisléptékű, vízviszartartásra alkalmas megoldást mutatnak be, amelyek mintául szolgálhatnak a problémával szembesülő térségek, települések előtt.

Az esettanulmányok jobb megértéséhez azonban fontos összefoglalnunk, mit is jelentenek a lokálisan, kis léptékben alkalmazható, úgynevezett természetalapú megoldások.

A TERMÉSZETALAPÚ MEGOLDÁSOK ÉS FŐBB TÍPUSAIK

A természetalapú megoldások meghatározása

A *természetalapú megoldások* (TAM), az angol terminológiában *nature based solutions* (NBS, vagy NbS) fogalma a 2000-es évek elején jelent meg. Az ENSZ Környezetvédelmi Programja (United Nations Environment Programme – UNEP) így határozza meg: „a természetes vagy módosított szárazföldi, édesvízi, part menti és tengeri ökoszisztémák védelmére, megőrzésére, helyreállítására, fenntartható használatára és kezelésére irányuló intézkedések, amelyek hatékonyan és alkalmazkodóan kezelik a társadalmi, gazdasági és környezeti kihívásokat, miközben egyidejűleg biztosítják az emberi jólétet, az ökoszisztémák és a környezet megfelelő állapotát, az ellenállóképességet és a biológiai sokféleséggel kapcsolatos előnyöket” (*UNEP 2022*).

Az Európai Bizottság némileg egyszerűbben fogalmaz: „A természet által inspirált és támogatott, költséghatékony megoldások, amelyek egyszerre nyújtanak környezeti, társadalmi és gazdasági előnyöket, és segítenek az ellenálló képesség kiépítésében” (https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en).

Más megközelítésben, a természetalapú megoldások olyan természeti és ökoszisztéma szolgáltatások használatát jelentik, amelyek gazdasági, társadalmi és környezeti hasznót (egyszerre) biztosítanak (*EC 2015*, *Maes és Jacobs 2015*). Hidrológiai értelemben pedig e megoldások feladata a vízfolyások természetes állapotát fenntartani, vagy visszafordítani azokat ebbe az irányba (*Fletcher és társai 2013*). *Seddon és társai (2020)*, vagy *Cohen-Shacham és társai (2019)* szerint a természetalapú megoldások egy ernyőfogalom, amely számos, a természethez visszanyúló megközelítést tartalmaz, ún. ökoszisztéma-alapú alkalmazkodás, ökoszisztéma-alapú csökkentés, ökokatasztrófa kockázat csökkentés, és zöld infrastruktúra.

Nem pusztán természetvédelemről van tehát szó, nem egyszerűen természetes, „elfeledett” technikák, tudás ismételt használatáról, hanem egy olyan komplex, rendszerben történő gondolkodásról, amely a természetet, és a társadalmat kölcsönható egészként tekinti. Ez azt is jelenti, hogy bármi is történik az egyik területen, az kihat a másokra is.

A meghatározásokon túlmenően szintén *Seddon és társai (2020)* három olyan tényezőt említenek, amelyek befolyásolják a természetalapú megoldások társadalmi hasznát. Ezek: (i) a beavatkozások típusainak spektruma, (ii) annak súlya, mértéke, hogy ezek mennyire támogatják a biodiverzitást, valamint (iii) e megoldásokat mennyire a helyi közösség tervezte és hozta létre.

Jelen tanulmány számára a természetalapú megoldásokat olyan kisléptékű, a lokális közösség részvételével megvalósuló cselekvésként határozhatjuk meg, amelyek a helyi ökoszisztéma szolgáltatásokra támaszkodva kínálnak hosszú távú válaszokat az éghajlatváltozásra, és biológiai sokféleségre vonatkozó válság okozta kihívásokra.

A természetalapú megoldások típusai

Mint *Seddon és társai (2020)* megjegyezték, bizonyos szempontból módszercsoportok összességét érthetjük a természetalapú megoldások alatt. Más megközelítésben az alkalmazható, „bevethető” eljárások köre helyszín- és feladatfüggő. Így *Mabon (2021)* skóciai szerzőként hangsúlyosan megjeleníti a tengerparti területekre vonatkozó eljárásokat is az olyan, magyarországi környezetben is létjogosultsággal bíró módszerek között, mint a zöldinfrastruktúra tervezés, ökológiai mérnöki megoldások, az invazív fajok visszaszorítása, az alacsony CO₂-kibocsátású és regeneratív mezőgazdaság és erdőgazdálkodás. *Eggermont és társai (2015)* által javasolt tipológia két szempontot említ. Ezek szerint lényeges, hogy mennyire veszi figyelembe a természetalapú megoldások megtervezése a biodiverzitás és ökoszisztémák igényeit, valamint hogy hány ökoszisztéma-szolgáltatást és érdekelt csoportot céloz meg egy adott megoldás? Mindezek alapján ugyanezen szerzők három fő típust különítenek el: Típus 1.: a természetalapú megoldás(ok) nem, vagy alig jelentenek beavatkozást a célhelyszín ökoszisztéma-szolgáltatásaira. Ez a kifejezetten természetvédelmi szemléletű típus nem csak az adott helyszín biológiai sokféleségének megőrzését (pl. a tengerparti mangrove erdők által kordában tartott időjárás szélsőségek révén), de az ilyen helyen élő, bennszülött népek természettel egyensúlyt tartó életmódjának megtartását is szem előtt tartja. Típus 2.: az ide tartozó megoldások fejlesztik és fenntartható pályára segítik a célhelyszín

(mára leromlott) ökoszisztéma szolgáltatásait. Ide sorolhatók a mezőgazdaságban, erdőgazdálkodásban bevethető természet-alapú megoldások, növelendő a (lokális) multifunkcionalitást, biológiai sokféleséget, fenntartható ellenállóképességet. Típus 3.: természet-alapú megoldások, amelyek egy mesterségesen létrehozott élettér ökoszisztéma szolgáltatásainak kialakulását, továbbfejlődését segítik. Itt azokra a megoldásokra gondolhatunk, amelyek pl. egy város fenntarthatóságára, biológiai értelemben vett életképességére hatnak jótékonyan (üm. zöld tetők, zöld falak, mesterségesen kialakított vizes élőhelyek, esőkertek, akár barna mezős területek rehabilitációja révén).

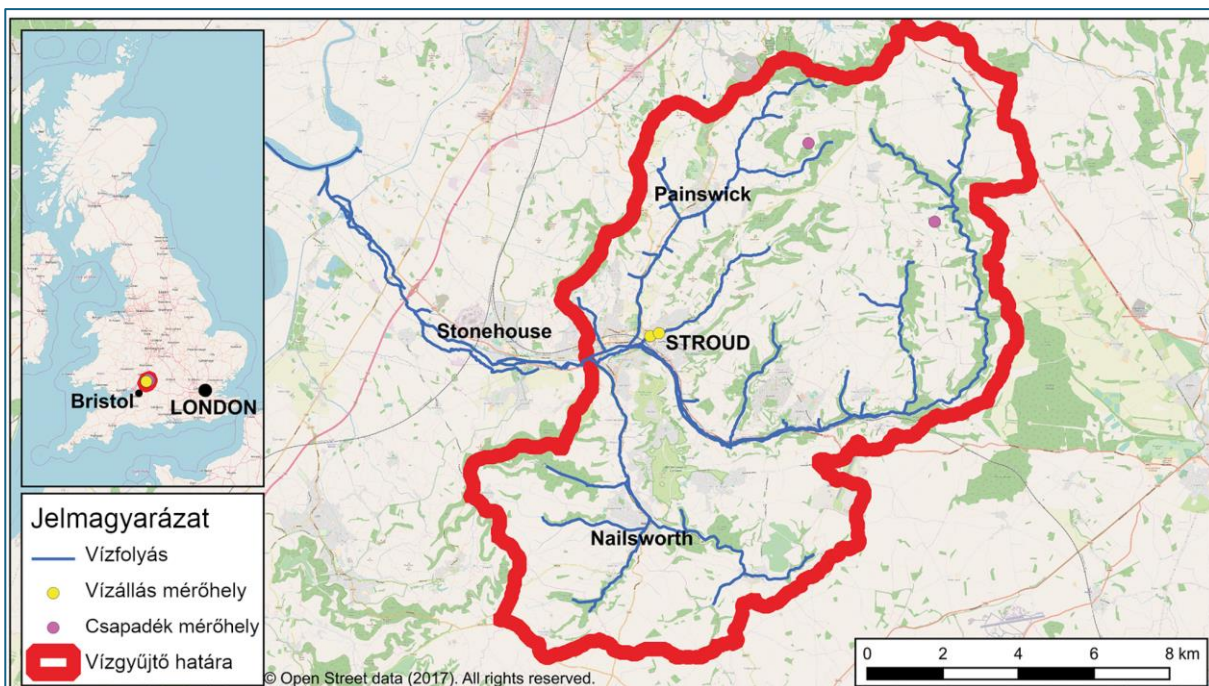
A fentiek alapján tehát inkább szemléleti hangsúlyok határozhatók meg jól, amelyeket adott helyen bizonyos megoldások segíthetnek létrehozni, fenntartani. Másrészt szólva, a természet-alapú megoldások listája nehezen állítható össze maradéktalanul. Ehelyett a megoldandó problémák, mint megoldásokért kiáltó helyzetek definiálása hangsúlyos. Ezek lehetnek a már említett biológiai sokféleség megőrzése éppúgy, mint a vízmegtartás, a talajmegőrzés, a szélsőséges időjárási események elleni védekezés, vagy épp a városi hőszigetetés csökkentése. A jelzett, általános megfontolásokon túlmenően kiváló beavatkozás-

típus gyűjteményt találunk a 'Natural Water Retention Measures' projektoldalon, ahol négy alkalmazási területre bontva (mezőgazdaság, erdőzet, hidromorfológia, város) több, mint 50 beavatkozástípussal ismerkedhetünk meg (<http://nwrn.eu/measures-catalogue>), konkrét esettanulmányokon keresztül, értékelve az egyes megoldásokat számos paraméter alapján. Hozzá kell azonban tennünk, hogy a fentiek ellenére a hibrid, „szürke-zöld” beavatkozásoknak is megvan a létjogosultsága. Lehetnek ugyanis olyan helyzetek, amikor a természet-alapú és „mérnök-alapú” eljárások közösen, egymást kiegészítve tudják orvosolni a felmerült problémát.

KÜLFÖLDI ESETTANULMÁNY: STROUD ÉS VIDÉKE, ANGLIA

Az angliai esettanulmányt *Short és társai (2018)*, *Kerpely és Farkas (2022)* és a 2022. évi saját helyszíni tapasztalatok alapján ismertetjük.

A DNy-Angliában, Gloucestershire megyében található Stroud kisváros a központja annak a 250 km²-es vízgyűjtővel rendelkező projekterületnek, ahol a Frome folyó, valamint számos kisebb patak gyűjtí és szállítja a csapadékvizet a regionális befogadó, a Severn folyó felé (1. ábra).



1. ábra. Stroud és vidéke, a Frome folyó vízgyűjtőjével (Short és társai 2018)

Figure 1. Stroud and countryside, with the River Frome catchment (Short et al. 2018)

A vidék éghajlati jellemzői szerint (<https://weather-and-climate.com/average-monthly-min-max-temperature-stroud-gloucestershire-gb,United-Kingdom>) az éves maximum átlaghőmérséklet 15 °C, míg az éves minimum átlaghőmérséklet 7 °C. A legmelegebb hónap a július (22 °C-os átlaggal), a leghidegebb január (+9 °C-os átlaggal). A tél tehát sok éves átlagban biztosan fagymentes. A csapadékeloszlás, az óceáni éghajlat általános jellemzőit tükrözve, egyenletes, és sokéves átlagban 60 mm/hónap körül ingadozik.

A térség hidrológiai jellemzőit K-ről Ny-ra tartó térszíncsökkenés határozza meg, amely a felszíni vizeket a Severn folyó irányába tereli (*Landscape Design Associates*

2000, *Mills és Dunn 2008*). A több, kisebb vízfolyás – így a Frome, a Cam, és a Little Avon, valamint más, kisebb vízfolyások (*Mills és Dunne 2008*) – is ezt az irányt követve szállítja a vízgyűjtőn összegyűlekező vizeket. A keleti, magasabb topográfiai helyzet meredekebb térszint is jelent. Szintén jelentős, a hidrológiai jellemzőket meghatározó faktor a földtani felépítés. A kis vastagságú, meszes agyagostalajos talajok alatt júra időszaki oolitos mészkő található. Ez a szituáció sajátos, hiszen az alacsony permeabilitású fedőréteg alatt jelentős nyelőképességű (nagy porozitású, és permeabilitású) kőzet helyezkedik el. Ez azt is jelenti, hogy a mészkő alapkőzetű vidéken relatíve kevés a

felszíni vízfolyás, hiszen a csapadék jelentős része beszivárog a kőzettestbe. A vidék nyugati részén, ahol a végső vízbefogadó a Severn folyó, tágasabb alluviális síkság található, amely az említett vízfolyások földtani közelmúltbeli munkája. Itt szintén földtörténeti középkori agyagos üledékek találhatóak, amelyek sokkal kisebb porozitásúak, permeabilitásúak, így gátolva a beszivárgást.

A dombvidéki tájon a növénytermesztés, és a legeltető állattenyésztés a hagyományos gazdálkodási mód, amelynek eredményeként alacsony az erdőborítottság. Ennek következtében az évi átlagosan 679 mm csapadék azon része, amely nagy intenzitású csapadékesemények (zivatarok) formájában hullik le, a korábbi évtizedekben (1875, 1882, 1900, 1907, 1929, 1931, 1965, 1968), illetve közelmúltban (2007, 2012) is okozott hirtelen kialakuló árvizeket Stroudban.

A projekt előkészítése

A 2007-es villámárvízét követően, a lehetséges megoldásokról átfogó egyeztetési folyamat kezdődött a helyben élő közösségekkel, a lehetséges megoldásokat áttekintő kockázatbecslési eljárás keretében (*Short és társai 2018*). A beszélgetésekből kirajzolódott, hogy a „klasszikus” szürke, mérnöki megoldások helyett a természetközeli, zöld infrastruktúra, tehát a természet alapú megoldások (TAM, ill. NBS: nature based solutions) kapott jelentősebb lakossági támogatást, mert a közösség véleménye szerint a beton alapú műtárgyak nem illenek a tájba, és negatív hatást gyakorolnak a környezetre.

Ezzel megszületett a döntés a projekt alapkoncepcióját illetően. 2010-ben indultak el az állami környezetvédelmi ügynökség és a helyi közösségek közötti részletes egyeztetések, terepbejárások, amelyet egy 3 éves partnerségi megállapodás megkötése tett hivatalossá. 2014-ben egy, a közösség bevonásával kiválasztásra került projektgazda kezdte el a fáradságos és sok türelmet igénylő személyes egyeztetéseket minden érintett gazdával, amelynek során a gazdák helyismerete beépült a megoldási elképzelésekbe. Ahogy 2022-es látogatásunkkor a projektgazda fogalmazott: „végül sem neki, sem a gazdáknak nem lett igaza, hanem kompromisszumos megoldások születtek”. E több éves fázisnak kulcsszerepe volt a sikeres megvalósításban, hiszen ezzel széles gazdálkodói támogatást kapott helyben a projekt, ellentétben azzal, mintha csak egy hatósági kötelezést hajtottak volna végre. Ugyanis nem csupán a gazdák formális egyetértésére számítottak a tervezők, hanem mindazon felhalmozódott, a helyi tudás és tapasztalat bevonására, hasznosítására, amely rendkívül fontos volt a megfelelő beavatkozási pontok, a természet alapú megoldások konkrét helyszíneinek kiválasztásához. Emellett szintén nagyon fontos hozadéka volt e hosszadalmas előkészítésnek, hogy a beavatkozások helye, jellege, mérete, megvalósítási módja konszenzuson nyugodott, s így a gazdák partnernek érezték magukat a projekt tervezése során, s így tevételesen, azaz munkájukkal, és nyersanyaggal (faanyaggal) is támogatták a megvalósítást, és a későbbi fenntartást is. Ez pedig már a projekt költségvetésére is jelentősen és jótékonyan hatott.

Az alkalmazott vízmegtartó megoldások

A természet alapú megoldások választása nem csupán jelentősen csökkentette a létesítési és fenntartási (üzemeltetési) költségeket – amint *Short és társai (2018)* beszámoltak róla, az addig megvalósított 250 beavatkozás kevesebb, mint 40 000 USD költségigényű volt mindösszesen –, hanem fontos többletet is jelentett az elvi megközelítésben. Nevezetesen, hogy számos kicsi, és nem egy (kevés) nagy beavatkozásra van szükség a kellő mértékű vízviszatarítás eléréséhez. Így bár egyenként egy-egy beavatkozási pont relatíve kevés vizet tud visszatartani, egy árhullámot érdemben lassítani, de e természetes anyagú „műtárgyak” sorozata már számottevő hatást tud kifejteni, figyelembe véve a több beavatkozás nagyobb szakaszon kifejtett hatását. Másként fogalmazva, a több, kisebb beavatkozással elkerülhetővé vált, hogy már összegyülekezett, nagy mennyiségű, és nagy mozgási energiájú víztömeget kelljen „megzaboláznai”, amelyre már csak a nagy méretű, vasbeton műtárgyak (pl. záportározók) alkalmazása nyújthat biztonságos megoldást.

Mivel így jelentősen több helyszínen kellett munkálatokat végezni, ezért kifejezetten felértékelődött a helybeli gazdák helyszínspecifikus tudása, amelynek projektbe forgatása nem pusztán előnyt jelentett, hanem voltaképp feltétellé is vált: 2018-ig 12 magángazdával, valamint 3 civil szervezettel sikerült együttműködést kialakítani, amely szám 2022-re már 25 partnerre bővült. A helyszínen több gazdával találkozva nem csupán e lokális tudás fontossága mutatkozott meg, hanem a gazdák azon felismerése is, hogy mindannyiuk közös érdeke a vizek megtartása, bármilyen gazdálkodási formát is folytatnak. E felismerés pedig kulcsfontosságú együttműködést szült.

A projekt leggyakrabban használt, kombinált megoldásait az alábbiakban mutatjuk be.

a.) Rönkgátak

A nagyobb keresztmetszetű, akár időszakosan száraz, de nagycsapadék-esemény idején mindenképp vízjárta medrekbe rönkgátakat helyeztek el oly módon, hogy az adott patak alaphozama akadálytalanul átjusson a rönkök között/alatt, ám az árvízi csúcs megemelkedett vízszintjét a gát képes legyen visszafogni, lassítani (2-3. ábra). Szintén alapelv volt, hogy a rönkök 1,5-2,5-szer legyenek hosszabbak, mint az adott vízfolyás mederszélessége, a gát stabilitása érdekében. A stabilitást a rönkök összecsavarozása is segítette.

Lényeges szempont volt a kivitelezés és a létesítmény környezetre gyakorolt hatása. Emiatt, ahol csak lehetett – illetve kifejezetten természetvédelmi oltalom alatt álló területen kötelező érvénnyel – kerülték a rönkök célgépes szállítását, és preferálták a helybeni nyersanyagok felhasználását. Ennek megfelelően 3 lehetőség közül választva alakították ki, a földtulajdonossal közösen a kompromisszumos megoldást: a.) természetes létesítés (a kidöntött törzsekhez nem nyúltak, nem igazították, gallyazták, gyökértelenítették azokat), b.) fél-természetes (a kidöntött rönkök helyzetén változtattak, optimalizálták), valamint c.) strukturált (a kidöntött rönkökből építéssel jött létre a kívánt gát szerkezet (2. ábra).



2. ábra. Rönkgátak a Frome vízgyűjtőjén, Anglia. a) természetes, b) fél-természetes, c) strukturált gátszerkezet (Short és társai 2018)

Figure 2. Log dams ('large woody debris') in the Frome catchment, England. a) natural, b) semi-natural, c) structured dam structure (Short et al. 2018)



3. ábra: Rönkgátak a Frome vízgyűjtőjén, Anglia. (Fotó: Halupka 2022)

Figure 3. Log dams ('large woody debris') in the Frome catchment, England. (Photo by Halupka 2022)

A rönkgátakat nem gondozzák, így azok tervezett élettartama – 5-10 év – után újabb fatörzseket döntenek ki, helyeznek el, figyelembe véve az eltelt idő tapasztalatait, esetleg némileg változtatva is a gát helyét.

Összességében 80-400 GBP/rönkgát költséggel (Short és társai 2018) tudtak elérni hatékony lefolyáslassítást. 2018-ig bezárólag 170 rönkgátat létesítettek a vízgyűjtő számos vízfolyásmedrében. 2022-es látogatásunk során a projektgazda arról tájékoztatott, hogy ez a szám időközben

több, mint 700 beavatkozásra növekedett, amellyel a vízgyűjtő 25%-án értek el lefolyáslassítást.

b.) Vízmosságok kitöltése

Sajátos módszer a vízmosságok kitöltése. A tanulmányúton száraz vízmosságok esetében talákoztunk ezzel az eljárással. Ebben az esetben a vékonyabb, valamint kar-, combvastagságú ágakat a vízmosságokba hosszanti (lejtő-) irányban helyezik el azzal a szándékkal, hogy lassítsák a lefolyást, csökkentve ezzel az eróziót, elősegítve a lokális beszivárgást (4-5. ábra).



4. ábra. Felszíni lefolyás-lassító ág- és rönköktelek a Frome vízgyűjtőjén, Anglia (Short és társai 2018)
 Figure 4. Surface run-off attenuation bunds ('gully stuffing') in the Frome catchment, England (Short et al. 2018)



5. ábra. Egy, a számos felszíni lefolyás-lassító beavatkozás (ágkötegek és rönkök) közül, a Frome vízgyűjtője egy völgyében, Anglia (Fotó: Halupka 2022)

Figure 5. One of the several surface run-off attenuation bund ('gully stuffing'), and logs ('large woody debris') in a valley of the Frome catchment, England (Photo by Halupka 2022)

E beavatkozás-típus több karbantartást igényel, hiszen a hosszanti mederkitöltést könnyebben bontja meg egy nagycsapadék-esemény. Mindazonáltal hazai szemmel ez a megoldás felvet kérdéseket. Hiszen a Magyarország kontinentális éghajlatán előforduló, s az éghajlatváltozás miatt szélsőségesebbé váló nagycsapadék-események során jelentősebb vízmennyiségek gyülekezhetnek össze időegység alatt, amelyek mechanikai csillapítására az ágakötegek,

illetve a rögzítést nélkülöző rönkök nem tűnnek megfelelő megoldásnak.

c.) Földsáncok

E megoldás célja a magasabb topográfiai pozícióból lefolyó, majd összegyülekező vizek helyben tartása. Ezzel a földsánc megakadályozza a nagy tömegű, lepel-szerű felszíni lefolyást, és a csapadék gyors völgybe jutását (6-7. ábra).



6. ábra. Különböző helyszíneken alkalmazott vízviszatarító földsáncok (piros nyíllal jelölve) a Frome vízgyűjtőjén, Anglia (Short és társai 2018)
 Figure 6. Water retention earth banks ('earth bunds', marked with red arrows) at various location in the Frome catchment, England (Short et al. 2018)

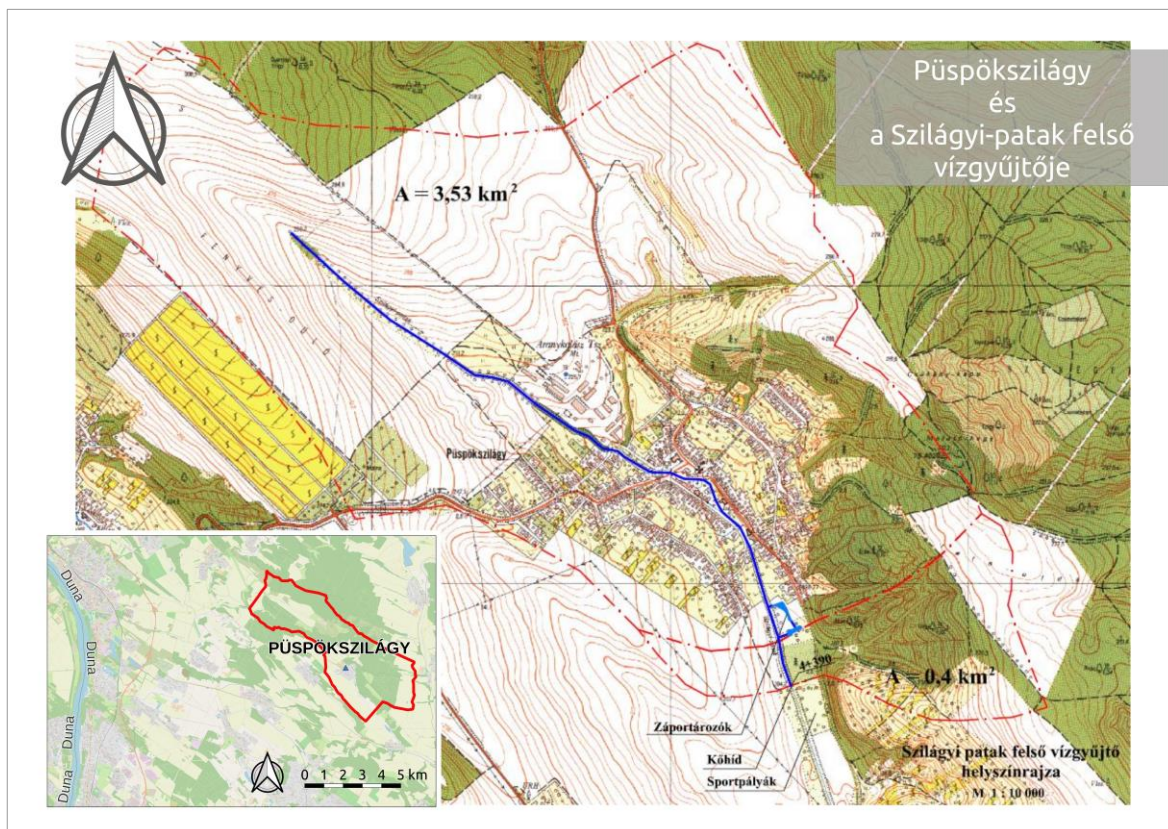


7. ábra. Vízz visszatartó földhány (az ábra közepén, piros nyíllal jelölve) a Frome vízgyűjtőjén, Anglia (Fotó: Halupka 2022)
Figure 7. Water retention earth bank ('earth bund', marked with red arrow) in the Frome catchment, England (Photo by Halupka 2022)

A már jelentősebb, gépi munkát is igénylő beavatkozás során a termőtalajt letermelik, deponálják, majd – a helyi sekélyföldtani adottságokat kihasználva – az agyagos altalajból kialakítják az alacsony porozitású és permeabilitású, néhány deciméter magas sáncot. Erre visszakerül a humuszos réteg, elősegítve a vegetáció újbóli megtelepedését. Az agyagos altalaj beépítése biztosítja, hogy a nagycsapadék során összegyülekező vizek kellően hosszú időt töltsenek el a sánc mögött ahhoz, hogy a visszatartott víz be tudjon szivárogni.

HAZAI ESETTANULMÁNY: PÜSPÖKSZILÁGY

A püspökszilágyi kisbeavatkozások tervezett megvalósításáról *Balatonyi és társai (2022)* számoltak be, előre vetítve a koncepcionális elképzelést, s felvázolva azokat a szakmai megfontolásokat, amelyek hazai környezetben is relevánssá teszik a természet alapú megoldások alkalmazását a dombvidéki vízmegtartás érdekében. Mi most a hivatkozott LIFE projektoldalak, valamint 2022–2023. évi saját terepi tapasztalatok alapján a megvalósult létesítményeket ismertetjük, vázlatosan. Püspökszilágy bő 700 lelkes zsákfalu a Cserhát és a Gödöllői-dombság találkozásánál, a váci járásban (8. ábra).



8. ábra. Püspökszilágy és a Szilágyi-patak felső vízgyűjtője (piros szaggatott vonallal jelölve) (Forrás: Tordai 2018, és saját szerkesztés, felhasznált szoftver: QGIS 3.22)
Figure 8. Püspökszilágy and the upper watershed of the Szilágy stream (marked with a red dashed line) (Source: Tordai 2018 and own editing, software used: QGIS 3.22)

A település a Szilágyi-patak völgyében helyezkedik el, ~200 m átlagmagasságú dombvidék által körülölelve. A falu feletti dombokon intenzív mezőgazdasági tevékenység zajlik, a patak vízgyűjtőjén 30-40%-os az erdőborított-ság. A Szilágyi-patak – amely Némedi patak egyik bal oldali mellékágaként a Galga-Zagyva-Tisza vízrendszerhez tartozik – vízgyűjtője 10 km², teljes hossza 6,8 km. Ebből a Püspökszilágyra közvetlen hatást gyakorló rész-vízgyűjtő szűk 4 km² (8. ábra). A patak vízjárása szélsőséges, árvízmentes időszakban hozama nem jelentős (Pataki és társai 2021/b). A Szilágyi-patak becsült árvízi vízhozama (OVF-2021 eljárással) 1% meghaladási valószínűség mellett kb. 5 m³/s, heves lefolyási viszonyokat feltételezve (Koris 2021). A sokéves átlagos lefolyás értékéből számolt közép vízhozama 0,02 m³/s.

A település éghajlata mérsékelt hűvös, száraz (Csorba 2021), 600 mm körüli éves átlagos csapadékoszszeggel, amelyből 330-370 mm mennyiség a vegetációs időszakban (április-október) esik. Érdeemes megemlíteni a NATÉR (Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer) adatbázisban található előrejelzést, amely szerint a 2021-2050 közötti időszakra az átlaghőmérséklet 1-1,5 °C fokkal fog emelkedni a térségben, míg az éves csapadék-mennyiség 25-50 mm-es csökkenése várható (<https://map.mbfisz.gov.hu/nater/>).

Az intenzív csapadékesemények (felhőszakadások) az utóbbi 1-2 évtizedben 2-3 éves gyakorisággal okoztak települési elöntést is okozó hirtelen kialakuló árvizet (https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/hu/nwrm/5_pilotrol_reszletesen), ám az aszályos időszakok is gyakoribbá váltak. A két szélsőség akár ugyanazon éven belül is előfordult. Ezek alapján pályázott a település a LIFE (L'Instrument Financier pour l'Environnement, LIFE – https://cinea.ec.europa.eu/programmes/life/history-life_en) miszsió MICACC („Az önkormányzatok integráló és koordináló szerepének megerősítése az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás érdekében” című projekt; röviden: LIFE-MICACC (https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/hu/rolunk/life_program) nevű programjára, amely megoldásként természet alapú, kisléptékű infrastrukturális megoldások gyakorlati kipróbálására ösztönözte a pályázó településeket. A program kivitelezési része 2018 elején indult, és 2020 végén fejeződött be, de a megvalósult természet alapú megoldások továbbra is üzemben vannak, illetve továbbfejlesztésre kerülnek a LIFE LOGOS4WATERS program segítségével.

A projekt előkészítése

A pályázat viszonylag rövid időkerete miatt – ellentétben az angliai példával – nem állt rendelkezésre sokéves, a helyi közösséggel folytatott személyes egyeztetési, előkészítési fázis. Ugyanakkor a helybeliek kezdeti bizalmatlanságát itt is fel tudta oldani a közvetlen párbeszéd, így mára a projekt céljaival, eredményeivel a lakosság azonosult, elfogadta azokat. Emellett jelentős problémának bizo-

nyult a jogi szabályozatlanság, a természet alapú megoldások újszerű, szokatlan nézőpontja, amely a hatósági engedélyeztetési folyamatot lassította.

Az alkalmazott vízviszartartó megoldások

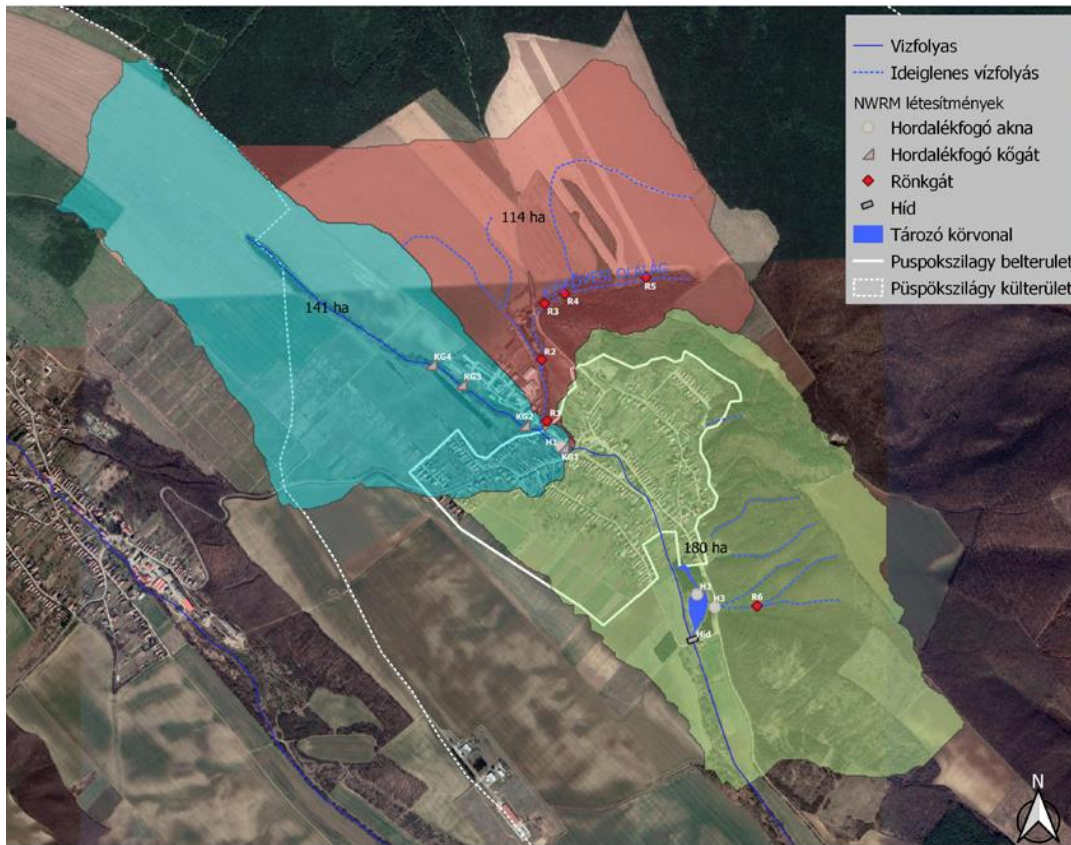
A tervezett megoldások két funkcióra fókuszáltak. Egyfelől a nagycsapadékok völgytalpi összegyülekezési idejét kívánták megnövelni, másfelől a beérkezett vizeket kívánták a település alvízi oldalán visszartartani, ezzel lokálisan javítva a település környezetének talajnedvesség-állapotát, mikroklimatikus jellemzőit, és növelve az aszályokkal szembeni ellenállóképességet. A településhez képest alvízi elhelyezkedésű beavatkozások a településelöntés, valamint helyi vízkárok elleni védelmében természetesen nem vesznek részt, ezek a létesítmények csak a talajnedvesség pótlását, és a mikroklima kedvezőbbé tételét biztosítják. E kettős szándékot olyan természet alapú megoldásokkal tervezték elérni, amelyek a felszínen összegyülekezett csapadékvíz mozgási energiájának csökkentésére, illetve a településen immár károkozás nélkül átjutó többlet vizek tározására összpontosítottak (9. ábra). Az előbbi igényt rönkgátakkal, utóbbit egy oldaltározóval tudták kielégíteni.

A projekt során az alábbi beavatkozás-típusok kerültek megvalósításra:

a.) Rönkgátak

A rönkgátakat az angliai példához hasonló megoldással alakították ki, amennyiben a vízfolyás (vagy a kisebb mértékű lefolyás során összegyülekező csapadékvíz) alaphozama akadálytalanul jut át a gát alatt, ám képes egy esetleges árvízi csúcs kisimítására, elnyújtására is, a megnövekedett víztömeg (gátanként néhány 100 m³) visszartartásával, lassításával. Az angliai megoldással ellentétben azonban itt kifejezetten épített szerkezeteket alkalmaztak, igaz a gátak, természetvédelmi szempontból kevésbé értékes (nem védett) területeken létesültek (10. ábra). Összesen 6 rönkgát létesült a Szilágyi-patakba torkolló mellékvölgyekben. E völgyek közül van olyan, amely csak extrém csapadékeseményt követően szállít vizet (Varga-Szilvási-oldalág), és olyan is, amely rendelkezik alaphozammal (Kiskövesi-oldalág).

Mivel püspökszilágyi jellegzetesség, hogy a völgyület alján elhelyezkedő település felett jelentős méretű, az év sok hónapjában növénymentes szántók találhatóak, ezért – mint legutóbbi otlétünkkel látható volt – nem csak az extrém csapadékesemény többlet vízmennyiségét kell feltartóztatniuk a rönkgátaknak, de a mezőgazdasági táblákról lemosott, nagy mennyiségű hordalékot (talajt) is (11. ábra). A LIFE-MICACC pályázat keretében összeállított Monitoringjelentés (Pataki és társai 2021/b) szerint, az így felgyülemlett hordalékkal kapcsolatban az önkormányzat fenntartási feladatokkal (kotrással, elszállításal) számol, amelyet a költségvetésébe beépített. A hordalékképződés ütemét (váltaképp a lehordott talaj mennyiségét) a Monitoringjelentés 120-200 m³/év nagyságrendűnek veszi; így ez az a mennyiség, amelytől a gátak mentesítik Püspökszilágy belterületét.



9. ábra. A kisléptékű vízmegtartó megoldások elhelyezkedése Püspökszilágy környezetében (a vörös, zöld, kék poligonok a Szilágyi-patak rész-vízgyűjtőit ábrázolják). (forrás: https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/storage/dokumentumok/life-Micacc_web.pdf)
 Figure 9. Location of small-scale water retention solutions in the Püspökszilágy area (the redish, green and blue polygons indicate the sub-catchments of the Szilágyi stream)(source: https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/storage/dokumentumok/life-Micacc_web.pdf)



10. ábra. Rönkgát Püspökszilágy határában

(https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/storage/dokumentumok/life-Micacc_web.pdf)

Figure 10. Log dams ('large woody debris') on the outskirts of Püspökszilágyi (https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/storage/dokumentumok/life-Micacc_web.pdf)



11. ábra. Egy rönkgát által csapdázott hordalék (talaj), Püspökszilágy (Fotó: Halupka 2023. június)

Megjegyzés: Egy 60 mm-es, extrém csapadékesemény rengeteg talajt mozgat meg az intenzív mezőgazdasági művelésű tábláról
 Figure 11. Eroded soil trapped by a log dam ('large woody debris'), Püspökszilágy (Photo by Halupka June of 2023)

Note: An extreme rainfall event of 60 mm moves a lot of soil from an intensively farmed field

b.) Oldaltározó

Az oldaltározó a Szilágyi-patak település alatti szakaszán kapott helyet (12. ábra). A kotrással kialakított tározótér összességében 14 000 m³ vizet képes eltárolni, amelyből a talajvíztest – maximális talajvízszint esetén – kb. 9 500 m³-t foglal el. Ezzel az árvízcsúcs-csökkentésre, azaz többlet víz befogadására – a rövid távú előrejelzést figyelembe véve, előzetes leeresztéssel – 5 000-5 400 m³-nyi térfogat áll rendelkezésre, amely átlagosan 50 cm vízoszlopmagasságot jelent a várható maximális talajvízszint felett (Pataki és társai 2021/a). Az 1%-os valószínűséggel előforduló becsült 5 m³/s vízhozam mellett ez a térfogat 0,5-1,0 m³ víz elvi kivezetését biztosítja 1,5-2 órán át, hozzátéve, hogy a vízkivezetés itt elsősorban a víz helyben tartását és beszivárogtatását célozza.



12. ábra. A Szilágyi-patak mellett kialakított, de azzal dinamikusan összefüggő oldaltározó, Püspökszilágy (https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/storage/dokumentumok/life-Micacc_web.pdf)

Figure 12. Side reservoir adjacent to the Szilágyi stream, Püspökszilágy. The reservoir is dynamically connected to the stream (https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/storage/dokumentumok/life-Micacc_web.pdf)

Mint neve is sugallja, a tározó nem a patak direkt kiszélesítésével jött létre, hanem abba egy bevezető árkon át érkezik az időszakosan megnövekedő vízmennyiség. A tározóból az itt is feleslegessé váló víztömeg egy szabályozható zsilipen, levezető árkon keresztül tudja elhagyni a tavat. A belépési pontnál hordalékfogó is épült, megelőzendő a tó idő előtti feliszapolódását.

A tározó kialakításakor igyekeztek az árvízvédelmi és ökológiai igényeket összehangolni, amelynek eredményeként mostanra egy helyenként már nádasodó partú, a mikroklímát is kedvezően befolyásoló vizes élőhely jött létre. A talajvíz alóli kotrás fenékszintjét úgy állapították meg, hogy a talajvíz-tó rész vízoszlop magassága mindig közel 1,00 m legyen, ezzel biztosítva a tó biológiai szempontú, megfelelő vízminőségét (Pataki és társai 2021/a).

Környezeti monitoring

A rönkgátak víz- és hordalék-visszafogó hatékonyságát monitoringrendszer vizsgálja. Ez folyamatos, eseti, valamint expedíciós terepi megfigyeléseket tartalmaz.

A folyamatos monitoring keretében hidrometeorológiai észlelések zajlanak, amelynek adatszolgáltatása online követhető. Szintén folyamatos észlelések történnek három, az oldaltározó környezetében létesített talajvíz-figyelő kútban. Ebben az esetben két kutat manuálisan mérnek, míg egyben automata vízszintmérő került telepítésre. Az eseti monitoring keretében a rönkgátak feletti térben a feliszapolódás mértékét vizsgálják egy egyszerű, karos megoldással, amely azonban egy közelítő hordaléktérfogatbecslést is lehetővé tesz. Szintén eseti jelleggel, évszakonként egy alkalommal vízminőségi mintavételezés is zajlik. Az expedíciós mérések során vízhozammérést végeztek, 2021.05.05-07.31. között.

Az említetteken túlmenően ökológiai monitoring is zajlik az oldaltározó környezetében, amely a kialakított vizes élőhely környezeti hatásait teszi követhetővé.

AZ ESETTANULMÁNYOK ÖSSZEFOGLALÁSA

Stroud, Anglia

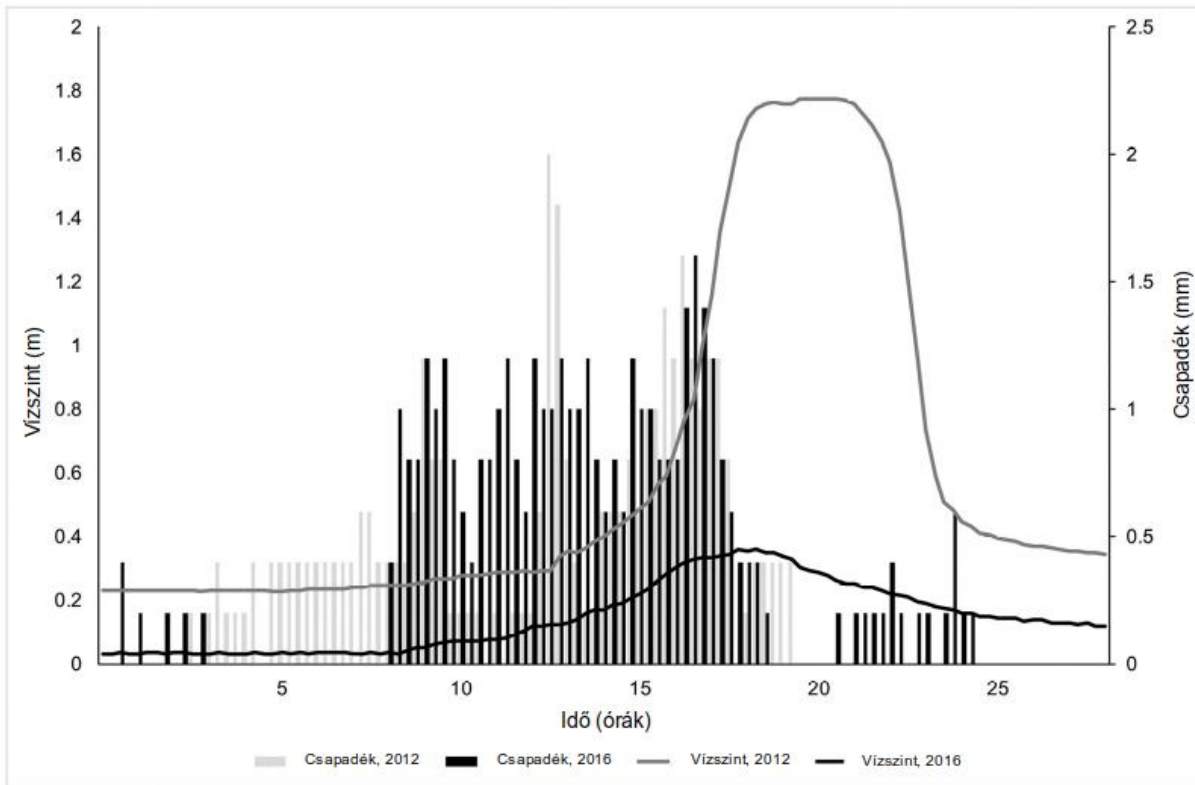
Bár a projekt Stroud vidékén még nem fejeződött be, azonban első eredményei már azonosíthatóak (Short és társai 2018, saját helyszíni konzultációk 2022):

- 2022-re, 25 gazda partnerségével 750 helyen végeztek el valamilyen típusú (rönkgát, rözseköteg, földsánc) kisléptékű természetalapú beavatkozást,
- ezzel a 250 km²-es vízgyűjtő 25%-án érték el pozitív változásokat a csapadékvíz lefolyás-lassításban,
- jelentősen épült a társadalmi bizalom a helybeli közösségek és a hatóságok között,
- javult az érintett területek vízgazdálkodása, s így a flóra-fauna állapota, biológiai sokfélesége,
- jelentősen csökkent az árvízcsúcsok nagysága (13. ábra),
- a 2017-es költség-haszon elemzés szerint a projekt bekerülési költsége és a megelőzött pénzügyi kár 1:6 arányú.

Püspökszilágy

A Püspökszilágyon és környezetében elvégzett természetalapú beavatkozások hatására jelentősen csökkent a településre zúduló villámárvíz kockázata, hiszen

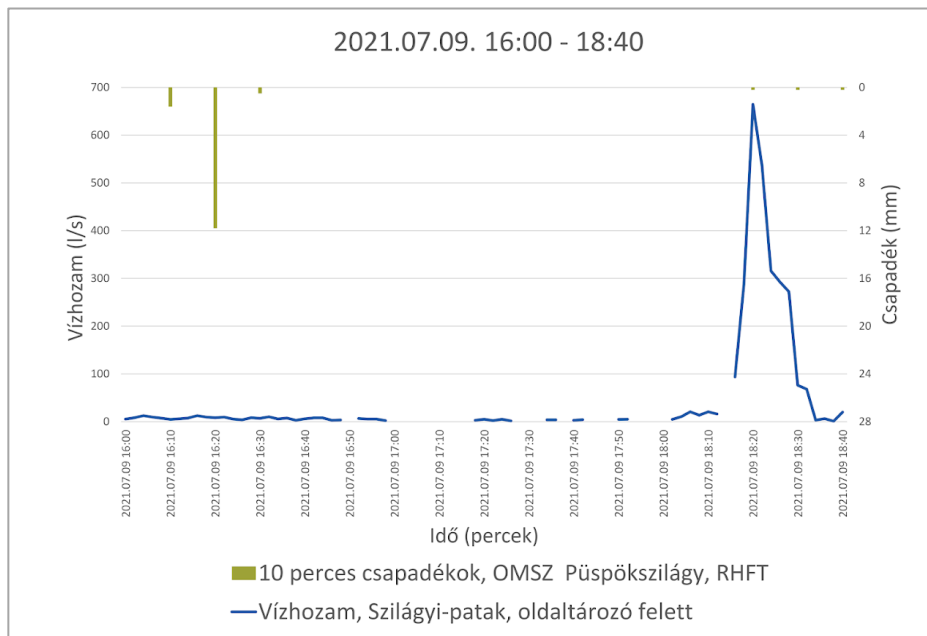
- az extrém csapadékeseményeket követő 25-26 perces összegyülekezési időt sikerült 1,5-2 órára növelni, feltételhezően a telepített lefolyáslassító megoldásoknak (rönkgátak) köszönhetően (Pataki és társai 2021/a) (14. ábra),
- a beavatkozást követően kialakult, nyári villámárvíz rendezetten, az addig tapasztalt települési elöntés nélkül vonult le,
- a létrejött vizes élőhely javította a mikroklimatikus viszonyokat, pozitívan hatott a vízháztartásra, talajnedvességre, és javította a lokális biológiai sokféleséget (https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/storage/dokumentumok/life-Micacc_web.pdf) (15. ábra).



13. ábra. A Frome vízgyűjtőjén megvalósított, természet alapú megoldások vízszintre gyakorolt hatása (Short és társai 2018)
Megjegyzés: 2016-ban jelentősen, >1 m-rel lecsökkent árvízi csúcs, egy jelentős csapadékeseményt követően (feketével). Összehasonlítási alap: 2012 egy hasonló eseménye, és árvízcsúcs hatása (szürkével)

Figure 13. Impact of nature-based solutions on water levels in the Frome catchment (Short et al. 2018)

Note: In 2016, the flood peak was significantly reduced by >1 m following a significant rainfall event (in black). Comparison: 2012, a similar event, and flood peak impact (in grey)



14. ábra. Nagycsapadék eseményt követő árhullámcsúcs, az Oldaltározó feletti mérce szerint, Püspökszilágy (https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/storage/dokumentumok/life-Micacc_web.pdf)

Megjegyzés: A csapadékeseményt követő összegyülekezési idő 25 percről ~2 órára nőtt

Figure 14. Flood peak following a major precipitation event, at the scale above the side reservoir, Püspökszilágy (https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/storage/dokumentumok/life-Micacc_web.pdf)

Note: The accumulation time following the rainfall event increased from 25 min to ~2 hours.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Az angliai Stroud-régió vízviszartó-megoldásai megmutatták, hogy a természetalapú megoldások hatékonyan segíthetnek a nagycsapadékok lefolyáslassításában, csökkentve ezzel az időegység alatt lefolyó víz mennyiségét, a hirtelen kialakuló árvizek kockázatát. Az alkalmazott megoldások egyúttal növelték a talajban elérhető nedvesség mennyiségét, amely pozitívan hatott a lokális flórára-faunára. Ezeken túlmenően nagyon fontos pozitívum volt a helyi közösségek döntési folyamatba történő bevonása, mert ezzel egyrészt sikerült a projektbe csatornázni a lokálisan felhalmozódott terepi, gazdálkodási tudást, másrészt növelte a helyi érintettek (gazdálkodók, civil szervezetek) és a résztvevő hatóságok, döntéshozók közötti bizalmat.

Az angol példa remek megerősítést kínált a hazai esettanulmányként bemutatott Püspökszilágy számára is. A hasonló domborzati adottságokkal rendelkező kistelepülés szintén kénytelen volt szembenézni az éghajlatváltozás nyomán egyre gyakrabban megjelenő szélsőséges csapadékeseményekkel, és az ezeket követő villámárvizekkel. A település vezetése felismerte, hogy e negatív hatásokat célszerű helyben, kisléptékben, természetalapú megoldásokkal orvosolni, amely szándékot egy célirányos LIFE pályázat támogatta. A rönkgátakból és oldaltározókból létrehozott rendszer sikeresen válaszolt a nagycsapadék-események által okozott problémára, hiszen a létesítés óta bekövetkezett villámárvíz-esemény rendezetten, települési elöntés nélkül zajlott le. Bár a pályázat időkerete nem tette lehetővé az angliai példában látott, sokéves társadalmi egyeztetés megvalósítását, a falu lakossága itt is partnernek bizonyult, miután megismerte a megközelítés hosszú távú, jótékony hozadékát a település számára.

A bemutatott angliai és hazai példa kiemeli a természetalapú megoldások létjogosultságát a szürke infrastruktúra (vasbeton műtárgyak) nyújtotta hagyományos megoldások mellett, vagy adott esetben helyettük, hiszen mind a létesítési, mind az üzemeltetési költség, és nem utolsósorban a kapcsolódó környezeti hatás (ökológiai lábnyom) is jelentősen kedvezőbb. A kedvező kül- és belföldi tapasztalatok alapján érdemes megfontolni a természetalapú megoldások használatát valamennyi olyan településen, amely már szembesült a változó éghajlati feltételek okozta időjárási szélsőségekkel, legyen szó vízhiányról, vagy pillanatnyi túlzott vízbőségről. Ugyanakkor kifejezetten javallott egy ilyen jellegű projekthez hosszabb, párbeszéd-alapú előkészítő szakaszt tervezni, amely során a helyi gazdák elmondhatják véleményüket, hasznosíthatóvá teszik tapasztalataikat, hiszen a vizek helyben tartása az egész közösség hosszú távú érdeke.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szerzők köszönetet mondanak az angliai és püspökszilágyi terepbejárásai lehetőségeikért, és az ezek során megvalósult konzultációkért. A programot, és a helyszíni látogatásokat a LIFE LOGOS4WATERS támogatta. Köszönet a programokat lehetővé tevő szervezőknek a BM, a WWF Magyarország, és Püspökszilágy Önkormányzata részéről. Végül köszönet illeti a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Környezettudományi Doktori Iskoláját, amely teret biztosít a vízmegettartással kapcsolatos kutatásoknak.

IRODALOMJEGYZÉK

Balatonyi L., Filczner-Plósz K., Berger Á., Koch D. (2022). Kisvízfolyások árvízi kockázatának csökkentése, a természetes vízviszartást elősegítő intézkedések alkalmazásának lehetőségei – Hidrológiai Közönlöny, 102/1. pp. 25-32.

Cohen-Shacham, E., Andrade, A., Dalton, J., Dudley, N., Jones, M., Kumar, Ch., Maginnis, S., Maynard, S., Nelson, C.R., Renaud, F.G., Welling, R., Walters, G. (2019). Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. *Environmental Science & Policy*, Vol. 98. pp. 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.014>

Csorba P. (szerk.) (2021). Magyarország kistájai – Meridián Táj- és Környezetföldrajzi Alapítvány, Debrecen. pp. 334-335.

Dunkerley, D. (2021). The importance of incorporating rain intensity profiles in rainfall simulation studies of infiltration, runoff production, soil erosion, and related landsurface processes – *Journal of Hydrology*, Vol. 603. 126834. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126834>

Eggermont, H., Balian, E., Azevedo, J.M.N., Beumer V., Brodin T., Claudet, J., Fady, B., Grube, M., Keune, H., Lamarque, P., Reuter, K., Smith, M., van Ham Ch., Weisser, W.W., Le Roux, X. (2015). Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, Volume 24, Number 4. pp. 243-248(6). <https://doi.org/10.14512/gaia.24.4.9>

European Commission (EC) (2015). Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities. Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on 'Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities' Directorate-General for Research and Innovation. European Union, Luxembourg.

European Commission, Directorate-General for Environment, Jaritt, N., Williams, H., Hanus, A., Strosser, P., Delacámara, G. (2016). Útmutató a vízmegőrzés természetre alapozott módszereinek kiválasztására, megtervezésére, megvalósításának támogatására Európában: a természetre alapozott megoldások sokrétű hasznának megragadása, Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/426951>

Fletcher, T.D., Andrieu, H., Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: a state of the art. *Adv. Water Resour.* 51 (0). pp. 261-279. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.09.001>

Horel Á., Zsigmond T., Farkas C., Gelybó G., Tóth E., Kern A., Bakacsi Z. (2022). Climate Change Alters Soil Water Dynamics under Different Land Use Types. *Sustainability* 2022. 14. 3908. <https://doi.org/10.3390/su14073908>

Kerpely K., Farkas V.M. (2022). Természetes vízviszartásra alapozó árvízi védekezés a Stroud völgyében – Kirándulásvezető, WWF Magyarország, p. 10. (kézirat).

Koris K. (2021). Magyarország kisvízfolyásainak árvizei. Országos Vízügyi Főigazgatóság, ISBN 978-615-5825-03-3

Landscape Design Associates (2000). Stroud District Landscape Assessment. Supplementary Planning Guidance. Stroud District Council, p. 87., https://www.stroud.gov.uk/media/1392/landscape_assessment.pdf

Maes, J., Jacobs, S. (2015). Nature-based solutions for Europe's sustainable development. Conserv. Lett. <http://dx.doi.org/10.1111/conl.12216>.

Mabon L. (2021). Nature-Based Solutions and the Green Economy. The British Academy, London. <https://doi.org/10.5871/bacop26/9780856726705.001>

Mills, C., Dunn, B. (2008). Stroud District Council. Strategic Flood Risk Assessment for Local Development Framework. Level 1. Volume 1, Final. - Halcrow Group Limited, p. 159., https://www.gloucestershire.gov.uk/media/8040/stroud_district_council_level_1_sfra_final_28385.pdf

Nemzeti Fejlesztési Minisztérium (2017). Második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia – NFM. pp. 28-29.

Olajosné Lakatos B. (2021). Környezetbiztonság – Éghajlati adaptáció vízmegtartással – Műszaki Katonai Közölny, 31/1. pp. 61-80., <https://doi.org/10.32562/mkk.2021.1.5>

Pataki B., Farkas V.M., Kerpely K. (2021/a). Természetes vízmegtartó megoldások a települési klímaalkalmazkodásban. Belügyminisztérium. p. 60. https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/storage/dokumentumok/life-Micacc_web.pdf (2023.07.20.)

Pataki B., Farkas V.M., Kerpely K., (2021/b). Püspökszilágyon megvalósult komplex természetközeli lefolyás lassító és vízmegtartó beavatkozás hidrológiai/hidrometeorológiai monitoringja. WWF HUNGARY LIFE16 CCA/HU/000115 PROJEKT D1 AKCIÓ, p. 72.

Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C.A.J., Smith, A., Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. Phil. Trans. R. Soc. B 375, 20190120. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>

Short, C., Clarke, L., Carnelli, F., Uttley, C., Smith, B. (2018). Capturing the multiple benefits associated with nature-based solutions: Lessons from a natural flood management project in the Cotswolds, UK. Land Degrad Dev. 2018. pp. 1–12. <https://doi.org/10.1002/ldr.3205>

Tordai, S. (2018). Szilágyi-patak bal partján LIFE-MI-CACC projekt keretében oldaltározós vízvisszatartó vízi létesítmények létesítése. (Püspökszilágy 051, 050 hrsz.) Projektismertető, Belügyminisztérium, <https://docplayer.hu/107968673-Puspokszilagy-051-050-hrsz-szilagyipatak-bal-partjan-life-micacc-projekt-kereteben-oldaltarozos-vizvisszatarto-vizi-letesitmenyek-letesitese.html> (2024.04.02.)

UNEP (United Nations Environment Programme) (2022). United Nations Environment Assembly of the United Nations Environment Programme: Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022. 5/5. Nature-based solutions for supporting sustainable development. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39864/NATURE-BASED%20SOLUTIONS%20FOR%20SUPPORTING%20SUSTAINABLE%20DEVELOPMENT.%20English.pdf?sequence=1&isAllowed=y%3%A7>.

Internetes letöltések:

https://cinea.ec.europa.eu/programmes/life/history-life_en (2023.07.20.)

<https://map.mbfisz.gov.hu/nater/> (2023.07.20.)

<http://nwrn.eu/measures-catalogue> (2024.04.02.)

<https://www.ovf.hu/hu/hirek-ovf/2022-evi-aszaly-ertekelese-a-tortenelmi-adatok-tukreben> (2023.07.20.)

https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en

https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/hu/rolunk/life_program (2023.07.20.)

https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/hu/nwrn/5_pilotrol_reszletesen (2023.07.20.)

<https://weather-and-climate.com/average-monthly-min-max-Temperature,stroud-gloucestershire-gb,United-Kingdom> (2024.04.02.)

https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/storage/dokumentumok/life-Micacc_web.pdf (2023.07.20.)

A SZERZŐK



HALUPKA GÁBOR 1996-ban kapott geológus MSc. diplomát az ELTE Természettudományi Karán. A földtan határterületei iránt érdeklődve a földtani természet- és környezetvédelemben szerzett munkatapasztalatokat, a Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság (2003-2009), majd a Repét Környezetvédelmi és Szolgáltató Kft. munkatársaként (2009-2014). Ezt követően a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (korábbi MÁFI, későbbi MBFSZ) kutatója lett (2014-2021). Jelenleg a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszékének kutatója, oktatója. A Magyarhoni Földtani Társulat tagja.



RÁCZ TIBOR 1991-ben okleveles építőmérnökként végzett a BME Építőmérnöki Karán, vízépítőmérnöki szakirányon. 2022-ben a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetemen PhD fokozatot szerzett. 1991 és 2005 között tervezőként dolgozott mérnöki irodáknál és saját vállalkozásában. 2005-től 2019 végéig a Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. Ár- és Belvízvédelmi Osztályán dolgozott, 13 éven át annak vezetője volt. 2020-ban a Ramboll Studio Dreiseitl pekingi irodájában szenior vízépítő mérnökként tevékenykedett. 2022-től egyetemi adjunktus a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Környezettudományi Intézetében a Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszékén. A Magyar Hidrológiai Társaság Vízépítési Szakosztályának elnöke, a Társaság Intézőbizottságának titkára.



GELYBŐ GYÖRGYI okleveles meteorológus (2006, ELTE). A földtudományok doktora fokozatot 2014-ben szerezte meg szintén az ELTE Földtudományi Doktori Iskolájában. Jelenleg a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Környezettudományi Intézete Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszékének tudományos főmunkatársa.



WALTNER ISTVÁN okleveles környezetmérnök (2007, SZIE), MSc in Land Management (2008, Cranfield University, Egyesült Királyság), ár- és belvízvédelmi szakmérnök (2012, EKF). PhD fokozatát a Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskolájában szerezte meg 2013-ban. 2010-től a SZIE, majd a jogutód Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Környezettudományi Intézetének munkatársa, jelenleg egyetemi docens, a Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék vezetője.



*Az angliai tanulmányút egyik felvétele (Fotó: Halupka)
One shot of the study trip to England (Photo: Halupka)*

A sekély Pátkai-tározó ökológiai állapotváltozásainak nyomon követése az üledék árvaszúnyog-fauna (Diptera: Chironomidae) vizsgálata alapján

Tombor Eszter¹, Korponai János², Szabó Zoltán¹, Szalai Zoltán^{1,3}, Kóbor István⁴, Magyarai Enikő Katalin^{1,5}

¹ ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter stny. 1/C (e-mail: eszter.tombor@ttk.elte.hu, zoltan-szabo199@gmail.com, szalai.zoltan@csfk.org, eniko.magyarai@ttk.elte.hu)

² NKE Víz tudományi Kar, Vízellátási és Csatornázási Tanszék, 6500 Baja, Bajcsy-Zsilinszky u. 12-14. (e-mail: korponai.janos@uni-nke.hu)

³ Földrajztudományi Intézet, HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

⁴ Közép-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 8000 Székesfehérvár, Balatoni út 6. (e-mail: kabor@kdtvizig.hu)

⁵ MTA-MTM-ELTE Paleontológiai Kutatócsoport, 1083 Budapest, Ludovika tér 2.

DOI: 10.59258/hk.16460



Kivonat

A Pátkai-tározót 1975-ben alakították ki a Velencei-tó vízellátásának szabályozására, de másodlagosan horgász-, illetve jóléti tóként is hasznosítják. A vízminőség a 90-es évektől drasztikusan leromlott valószínűsíthetően a mederkostrások elmaradása és a horgászok által vízbe szórt etetőanyag miatt, ezért a tározó csak korlátozottan alkalmas a Velencei-tó vízpótlására. Az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium anyagi támogatásával megvalósuló projekt (RRF-2.3.1.-21-2022-00014) keretén belül a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KDTVIZIG) vízminőség javítását és algavirágzások visszaszorítását célzó terveinek megalkotásához szeretnénk hozzájárulni a tározóból vett rövid (54 cm) üledékfurat árvaszúnyog-faunájának vizsgálatával. A fauna nagy felbontású vizsgálatával feltárhatjuk a vízminőség időbeli alakulását és a tározó életének eddigi állomásait (leeresztés, algavirágzások). Az elemzés során mértük az üledék a-klorofill tartalmát (SPDU) és egyéb geokémiai változóit (TOC: összes szerves széntartalom, TbN: összes kötött nitrogéntartalom, C/N arány) is. A tározó árvaszúnyog-közösségének időbeli alakulását vizsgálva 3 zónát tudunk elkülöníteni: a legalsó zóna faunája a tározó 1992-es leeresztésével és 1994-es visszatöltésével járó jelentős vízszintváltozásokat jelzi; a középső zónát jó oxigénellátottságot, de már mezotróf-eutróf viszonyokat jelző taxonok jellemzik; a legfelső zónát az oxigénhiányos állapotot és az eutróf-hipertróf közeget toleráló taxonok uralják. A futtatott főkomponens-analízis (PCA) egyes tengelye mentén a fajok trofitási tolerancia és oxigénigény alapján is elváltak. A vizsgált geokémiai változók közül a TOC, a TbN és az SPDU növekvő tendenciájú változása planktonikus eutrofizálódást jelezhet, amit a területileg illetékes vízügyi igazgatóság vízminőség-feltáró vizsgálati is kimutattak. Eredményeink alapján a fauna átalakulásának fontos befolyásoló a különböző eredetű tápanyagdúsulások és a tározó 1992-es leeresztése. A Víz Keretirányelv alapján is jó minőségű víz kiemelt fontosságú a tározóban, hiszen nemzetközi szinten is fontos nagy tavunk, a Velencei-tó vízpótlásának szükségessége az elmúlt években szinte kivétel nélkül felmerült. Az árvaszúnyog-fauna összetétele alapján a vízminőség javítása feltétlenül indokolt, mely a horgászat ésszerű keretek közt tartásával, a mederkostrásával, valamint a befolyó Császár-víz vízhozamának növelésével érhető el.

Kulcsszavak

Árvaszúnyog, víztározó, Velencei-tó, Pátka, eutrofizáció, humán hatás.

Changes in the ecological conditions of the shallow artificial Pátkai reservoir, based on the study of the chironomid fauna (Diptera: Chironomidae)

Abstract

The Pátkai reservoir was created in 1975 to regulate the water supply of Lake Velencei, but it is also used as a fishing and welfare lake. The water quality has deteriorated since the 90's, possibly due to the lack of dredging and the amount of bait thrown into the water by anglers. With this research supported by the National Multidisciplinary Laboratory for Climate Change (NKFIH-471-3/2021, RRF-2.3.1-21-2022-00014) we would like to contribute to the work of Central-Transdanubian Water Directorate (KDTVIZIG) for water quality improvement and algal bloom control by studying the chironomid fauna of the short (54 cm) sediment core collected from the reservoir. The high-resolution analysis of the fauna allows us to reveal the evolution of water quality and the history of the reservoir (draining, algal blooms). The analysis included measurements of the chlorophyll derivatives (SPDU) and other geochemical variables (TOC: total organic carbon, TbN: total bound nitrogen, C/N ratio) of the sediment. By examining vertically the chironomid community, we distinguished three zones: the first zone represented the significant water level changes due to the draining (1992) and refilling (1994) of the reservoir; the second zone was dominated by taxa indicating good oxygenation and mesotrophic-eutrophic conditions; the top zone was dominated by taxa tolerating oxygen deficiency and eutrophic-hypertrophic water. Along the first axis of the Principal Component Analysis (PCA), species separated according to their trophic tolerance and oxygen demand. The increasing trend in TOC, TbN and SPDU indicate planktonic eutrophication, as indicated by water quality monitoring studies by the regional water management agency. Our results suggest that nutrient enrichment and the water level changes in the 90's are the most important drivers of faunal changes. Water of good quality is a priority for the reservoir, as the need to replenish the water of Lake Velencei has been raised in recent years. The water quality improvement can be achieved by restricting angling, dredging the reservoir and increasing the inflow of the Császár-víz.

Keywords

Chironomids, reservoir, Lake Velencei, Pátka, eutrophication, human impact.

BEVEZETÉS

Empirikus bizonyítékok megerősítik, hogy a felmelegedés és az emberi tevékenység együttes hatása a különböző tengerszint feletti magasságban található tavak ökológiai közösségeiben előre nem várt mértékű változásokat okozott, amelyek veszélyeztetik a tavak stabil működési rendszerét (*Dearing és társai 2014, Haliuc és társai 2020, Szabó és társai 2020*). A tavi ökoszisztémákat érő atmoszférikus szennyezések (fokozott nehézfém-, nitrogén- és foszforterhelés légköri kiülepedésből, szerves szennyezők légköri bekerülése) és a magashegységekben jelentkező, az átlagosat meghaladó hőmérsékletemelkedés (*Valerio és társai 2015*) jelentős hatást gyakorol az életközösségekre.

A Duna-vízgyűjtő egyik legjelentősebb állóvizeként tartjuk számon a Velencei-tavat, Európa egyik legnyugatibb sztyepptavát. Területe 25 km², de jelentős részét nádasok fedik. Sekély (átlagosan 1,5 m mély), erősen feltöltött állapotú tó. Vízellátása (saját vízpótló rendszerének működtetése ellenére) rapszodikus, vízszintje változó. A Velencei-tó turisztikai jelentőségét növeli a fővároshoz közeli fekvése. A tóba a vízgyűjtő 67%-áról vizet szállító Császár-vízen két tározó létesült, melyeknek elsődleges hasznosítási célja a Velencei-tó vízpótlásának biztosítása. A Zámolyi- és a Pátkai-tározók üzemeltetésével fürdési idejében a minimális vízszint 90%-os valószínűséggel a 120 cm-es agárdi vízállás felett marad. A vízpótlás során a Császár-vízzel érkező szervesanyagok és tápanyag negatív hatással van a Velencei-tó természetvédelmi területén mérhető vízminőségre is, ez a vízminőségromlás elsősorban az algák fejlődését elősegítő foszforkoncentráció növekedésében és a víz a-klorofill tartalmának emelkedésében nyilvánul meg. Létesített és természetes vizek esetén is természetes folyamat ugyan az eutrofizálódás, de a turisztikailag, társadalmilag és ökológiailag is nagy jelentőségű Velencei-tó nyílt vizes területének vízellátása szempontjából a tározók vízminőségének javítása és fenntartása kulcsfontosságú lenne (*VGT3 2020*).

Közleményünkben a Velencei-tó vízminőségét a vízlevezetés révén jelentősen befolyásoló Pátkai-tározó árvaszúnyog-faunájának vizsgálatára fókuszálunk, amely során megállapítjuk, hogy ez a környezeti hatásokra, főképp a legmelegebb hónap középhőmérséklet-változásaira érzékenyen reagáló (*Eggermont és Heiri 2012*) makrogerinctelen közösség milyen változásokat mutat az általunk vizsgált üledékszakazon, és hogy az átalakulásért mely környezeti változók és vízügyi beavatkozások lehetnek felelősek. A vizsgálat az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium projekt keretében (RRF-2.3.1.-21-2022-00014) valósul meg. Kutatásunk jó alapot szolgáltat ahhoz, hogy a projekt keretén belül más vizsgálati módszereket is segítségül hívva meghatározhassuk azt a faunaösszetételt és vízkémiai paraméteregyüttest, amely a Velencei-tó vízpótlása szempontjából is elfogadható vízminőséghez kapcsolódik. Ismert tény, hogy a tavak biztonságos működési keretén belül a rendszer kismértékű ingadozást mutat az alapállapot körül, de még visszaáll eredeti állapotába (*Wang és társai 2012, Dearing és társai 2014*), míg a nagyobb hatások egy teljesen új, az eredetitől jelentősen eltérő rendszert is létrehozhatnak, ami a Pátkai-tározó esetében a tartósan rossz vízminőség eredményeké-

pen már esélyesnek látszik. Ennek magállapításához és a biztonságos működési keret felállításához nagy segítséget és alapot nyújt a tározó árvaszúnyog-közösségének vizsgálata. Az eredmények birtokában az RRF projekt keretében javaslatokat fogalmazunk meg az elmúlt években tapasztalható algavirágzások (*VGT3 2020*) elkerüléséhez és a vízminőség javításához.

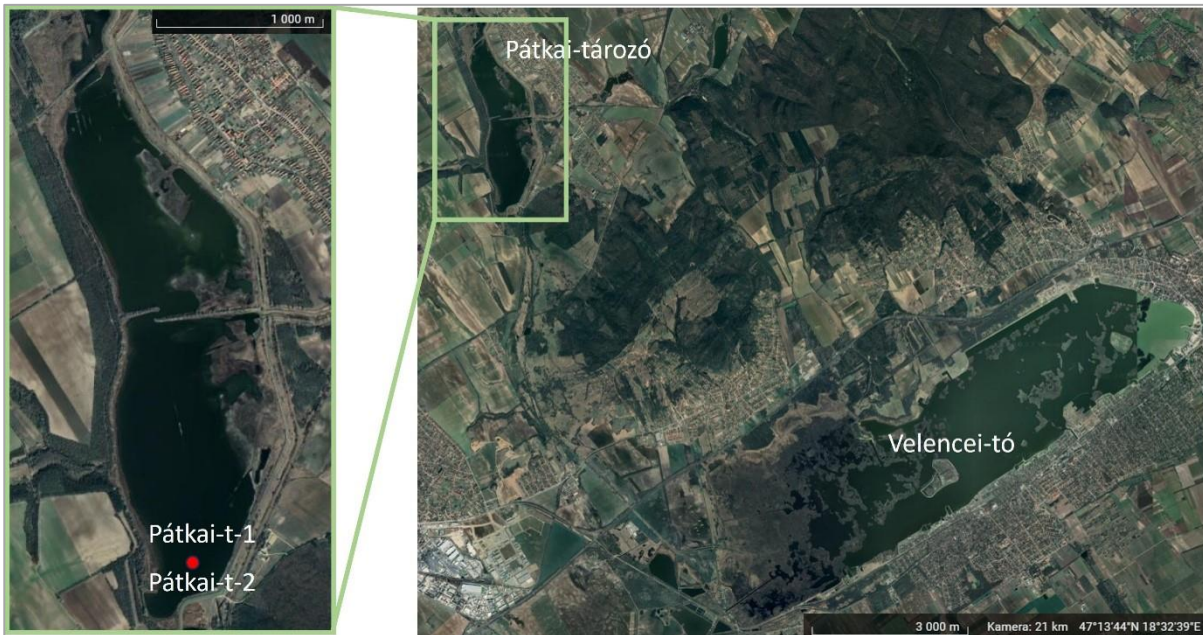
A KDTVIZIG és az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) által közzétett vízminőségi adatok, illetve a médiában rendszeresen megjelenő, halpusztulásokról tudósító hírek (<https://sokszinuvidek.24.hu/viragzo-vidékunk/2024/01/26/remalomma-valt-a-patkai-viztarozo-tortenete-leuritik-es-lehalasszak-a-tavat/>) alapján úgy gondoljuk, hogy az árvaszúnyog-fauna összetétele a tározó létrehozása óta jelentős átalakuláson ment keresztül, elsősorban a tápanyagtartalom növekedése és a vízben oldott oxigéntartalom csökkenése miatt. Kutatásunk legfontosabb célja ennek a hipotézisnek az alátámasztása vagy cáfolása, valamint az egyéb, az árvaszúnyog-együttes összetételét befolyásoló hatótényezők feltárása.

Az árvaszúnyog-eredmények értelmezését segítette és alátámasztotta az üledékből elemzésre került teljes szerves széntartalom, összes kötött nitrogéntartalom, szén/nitrogén arány, illetve SPDU (a-klorofill) és szemcseméreteloszlás is.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgált terület bemutatása

A vizsgált tavunk az 1974-ben a Császár-víz visszaduzzasztásával létesített Pátkai-víztározó (*I. ábra*), amely a Zámolyi-tározóval együtt a Velencei-tó vízutánpótlását biztosítja. A mindössze 137 mBf magasságban található dombvidéki tározó területe 2,9 km², átlagos vízmélysége 2,5 m. Befolyó vízfolyásai a Császár-víz és a Rovájka-patak. Napjainkban horgászparadicsom és kedvelt üdülőövezet, de eredeti funkcióját csak korlátozottan tudja betölteni. Jelen állapotában szinte csak kora tavasszal vagy késő ősszel, télen alkalmas a tározó vize (*KDTVIZIG 2023*) a Velencei-tó vízpótlására a magas, a hipertróf határértéket akár kilencszeresen meghaladó a-klorofill tartalom miatt. A vízminőség a tározóban a 90-es évektől bizonyítottan nem volt jó, a 2000-es években pedig már 500 mg/m³ körüli éves klorofillcsúcsokat mértek (*KDTVIZIG 2023*). A vízminőségromlás okait viszont nem ismerjük pontosan, azok nincsenek tudományos igényvel feltárva. Feltételezések szerint a legfőbb ok a kotrások hiánya miatt felhalmozódott mederüledék, illetve a horgászok által beszórt nagy mennyiségű etetőanyag, amivel rengeteg plusz tápanyag kerül a vízbe (*VGT3 2020*). Egy öt napon keresztül, öt mérőponton, napi egyszeri mérési gyakorisággal végzett vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a Császár-vízen keresztül a Velencei-tóba vezetett víz minősége a megtett kb. 10 km alatt számottevően nem javult, a tóba jutó víz klorofilltartalma érdemben nem változott meg (<https://444.hu/2021/10/07/olyan-rossz-minosegunek-bizonyult-a-patkai-tarozo-vize-hogy-nem-lehet-beleengedni-a-velencei-toba>), ezért kulcsfontosságú, hogy a tározó vízminősége javuljon. A tározó vízminőség-monitorozását jelenleg a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság székesfehérvéri laboratóriumában végzik.



1. ábra. A Pátkai-tározó és az egymás melletti fúrásponatok (Pátkai-t-1 és Pátkai-t-2) elhelyezkedése (Google Earth)
Figure 1. Location of the Pátkai reservoir and adjacent drilling points (Pátkai-t-1 and Pátkai-t-2) (Google Earth)

Üledék-mintavétel

A Pátkai-tározó árvaszúnyog-faunáját és geokémiai jellemzőit a tó déli részéről (É.sz. 47,25°, K.h. 18,49°) származó rövid üledékfuratból vizsgáltuk (1. ábra). Az üledék-mintavétel 2022 szeptemberében zajlott gravitációs fúró segítségével 110 cm-es vízborítás alól. Ennek során két üledékfuratot vettünk, melyek közül a feldolgozott furat (Pátkai-t-2) hossza 54 cm volt. Az üledékfuratot 1 cm-enként osztottuk almintákra, és a további vizsgálatokig 4 °C-on tároltuk.

Laboratóriumi mérések

TbN, TOC, C/N mérések

A feldolgozott furatból 2 cm-enként 1-1 cm³ almintát vettünk az üledék összes szén (TC), szerves szén (IC) és összes kötött nitrogéntartalmának (TbN) meghatározásához. Az összes széntartalmat és az összes kötött nitrogéntartalmat Dumas-elven elemanalizátorral (Elementar varioMacroCube), a szerves széntartalmat (IC) pedig IC kemencével kombinált infravörös analizátorral (Shimadzu TOC-L SSM5000) határoztuk meg. Az összes szerves szén mennyiségét az összes szén és szerves szén különbsége alapján (TOC = TC - IC) számítottuk ki.

SPDU (klorofill-származékok) mérése

A fosszilis pigmentek, köztük a klorofill jól használható paleoökológiai alkalmazáshoz, amely kulcsfontosságú választ nyújthat a történelmi változásokra, a tavi produkcióra vagy a primer produkció összetételére (Smol és társai 2001) vonatkozóan. A paleopigment maradványok (SPDU: Sedimentary Pigment Degradation Unit) meghatározásához a furat minden centiméteréből vett mintákból (1 cm³) acetonnal kioldottuk a klorofilltartalmat, majd ülepítés után a folyadékfázisban spektrofotométerrel 666 nm és 750 nm hullámhossztartományban mértük az abszorbanciát. A szilárd fázis tömegét az acetoneleparólogtatása és tömegállandóságig tartó szárítás után határoztuk meg.

A paleopigment-tartalmat Vallentyne (1955) képlete alapján számoltuk a minták szárazanyag-tartalmához viszonyítva.

Szemcseméreteloszlás meghatározása

Az analízis előtti fizikai előkezelés – 130 W teljesítményű és 28 kHz frekvenciájú ultrahangos kezelés (McCave és Sivitski 1991) – az aggregátumok diszperzióját segítette, míg a kémiai előkezeléseket a ragasztóanyagok (a szerves anyag és a CaCO₃) eltávolítására használtuk (Gee és Bauder 1986). A kémiai előkészítéshez nátrium-pirofoszfátot alkalmaztunk (Madarász és társai 2012) hidrogén-peroxidos kezeléssel kiegészítve a szerves anyag eltávolítása céljából. A hidrogén-peroxid az eloszlásfüggvényt a finomabb szemcsék felé tolja el a szerves kötőanyagok hatásának a megszűnése kapcsán. A szemcseméreteloszlás meghatározását lézerdiffrakciós szemcseanalizátorral (Horiba gyártmányú LA-950) végeztük.

Az árvaszúnyog-fauna vizsgálata

A rovarok osztályán belül a kétszárnyúak (Diptera) rendjébe tartozó árvaszúnyogok családja (Chironomidae) széleskörűen használt indikátor a paleoökológiai kutatásokban. Az árvaszúnyogok lárvái szinte minden vizes és nedves élőhelyen nagy mennyiségben megtalálhatóak és rövid életciklussal rendelkeznek, aminek jelentős részét a víztestben töltik (Brooks és társai 2007). Jól ismert az érzékenyséjük a legmelegebb hónap középhőmérséklet-változásaira (Eggermont és Heiri 2012), de szintén érzékenyen reagálnak a tápanyagtartalom, a tavi élőhelyek és a táplálékforrás összetételének megváltozására (Holmes 2014). A lárvák kitinizált fejkapszulája a leggyakoribb fellelhető maradvány a tavi üledékekben (Brooks és társai 2007).

Az árvaszúnyoglárvák vizsgálata a Pátkai-tározó esetében nedves minták elemzése alapján történt. A feldolgozott üledék mennyisége változó volt a fejkapszulaszám függvényében (4-10 cm³). Az elemzés 5 cm-es felbontásban történt, de két egymást követő cm összevonásával (pl.

1-2 cm, 4-5 cm, 9-10 cm, 14-15 cm stb.). A néhol igen alacsony fejkapszula-koncentráció miatt az 1-2 cm és 4-5 cm minták, illetve a 49-50 cm és 53-54 cm minták összevonásra kerültek (3. ábra). A reprezentativitás eléréséhez minimum 45-50 db fejkapszula elemzése ajánlott (Heiri és Lotter 2010), de ezt a számot az elemzett minták összevonásával sem sikerült elérni a furat alján és tetején, ami az eredmények bizonytalanságát okozza. További minta felhasználását nem tartottuk szerencsésnek az egyéb vizsgálatok mintáigénye miatt.

Az árvaszúnyoglárva fejkapszuláit 10%-os KOH oldatban való melegítés (15 perc, 85 °C) és 100 mikronos szűrés után Bogorov-számlálótálcáról (Gannon 1971), 40-szeres nagyítású sztereomikroszkóp alatt válogattuk ki, majd a fejkapszulákat az azonosításhoz Euparal® tartóközegben tárgylemezre rögzítettük. A fajok és fajcsoportok meghatározása Brooks és társai (2007) és Andersen és társai (2013) határozói alapján történt Olympus CX41 mikroszkóp segítségével 100-400-szoros nagyításon. A fajokat táplálkozásuk szerint csoportosítottuk Luoto és Nevalainen (2015) leírásához igazodva, ez alapján az üledékben előforduló fajokat szűrőgető (a vízoszlopban lebegő és oldott nagyon finom szemcsés szerves anyaggal táplálkozó), gyűjtőgető (az aljzaton található szemcsés törmelékkel táplálkozó), aprító (élő vagy lebomló növényi szövetekkel és durvább szemcsés szerves anyagokkal táplálkozó), illetve ragadozó (más állatokkal táplálkozó) csoportba soroltuk. A taxonok trofitási preferencia szerinti csoportosítása Brooks és társai (2007) és Moller Pillot (2013) trofitási beosztása alapján történt.

Statistikai módszerek

A relatív abundancia diagramot a C2 (<https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software/C2Home.htm>) programmal ábrázoltuk, míg az árvaszúnyog-adatsor zónahatárait hierarchikus klaszterelemzéssel (CONISS: Grimm 1987) határoztuk meg a Psimpoll 4.27 program segítségével (<https://chrono.qub.ac.uk/psimpoll/psimpoll.html>). A változóink között feltételezett lineáris kapcsolat miatt az árvaszúnyogadatok elemzéséhez főkomponens-analízist (PCA) választottunk, ezt megelőzően az adatokon Hellinger-transzformációt végeztünk (Legendre és Gallagher 2001). A főkomponens-analízis csak a tó feltételezett újbóli feltöltésétől kezdődő furatszakszon (CH-2 és CH-3 zóna) történt, az 5%-nál magasabb relatív abundanciát mutató taxonokat bevonva. Az árvaszúnyog-diverzitás (chironomid richness), azaz a mintákban található árvaszúnyog-lárva típusok száma konstans számú leszámolt fejkapszulára vonatkoztatva (Birks és Line 1992) az egyik legegyszerűbb módszer a múltbéli diverzitás meghatározására (Giesecke és társai 2014). A diverzitás mértéke ritkítással (rarefaction analysis) becsülhető meg, ehhez a mintákban összesen leszámolt fejkapszulák legalacsonyabb értékét vettük alapul (Birks és Line 1992).

EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az üledék TOC, TbN, C/N arány analízise, a szemcseméret és az SPDU változásai

Az üledékből közel homogén teljes szerves szén (TOC) eloszlást mutattunk ki, az 5-6% TOC értékek nem kifejezetten magasak, de összességében növekvő tendenciát mutatnak felfelé haladva (4,44-ről 6,41%-ra) (2. ábra). A 37. centiméternél látható egy csökkenés (5,37-ről 2,55%-ra).

A furatban felfelé folyamatosan emelkedő N-tartalom figyelhető meg, ami a belső produkció növekedésére, azaz eutrofizációra utal (0,43-ról 0,73%) (Taylor és társai 2013). A KDTVIZIG által rendelkezésünkre bocsátott összes nitrogéntartalomra vonatkozó adatok (1987-2023) is növekvő trendet mutattak, megerősítve mérésünk helyességét. A legfelső (P3, 0-17 cm) zónában a TOC is emelkedett (4,9-ről 5,6%-ra), de a C/N arány csökkent (9,06-ről 8,95-re). Ez szintén megnövekedett belső tavi produkciót jelez, azaz a többlet szervesanyag a tó belső folyamataiból származott, nem a tavon kívülről (Perdue és Koprivnjak 2007), amit az SPDU növekedése is alátámaszt. Összességében a Pátkai-tározó üledéke fokozódó eutrofizálódást mutat a növekvő összes kötött nitrogén (TbN: 0,43-ról 0,73%-ra), teljes szerves szén (TOC: 4,44-ről 6,41%-ra) és a csökkenő C/N arány alapján. A növekvő nitrogéntartalomhoz hozzájárulhatott N-bemosódás vagy a légkörből kiülepedő, műtrágyákból, közlekedésből származó szerves N is (Wolfe és társai 2001).

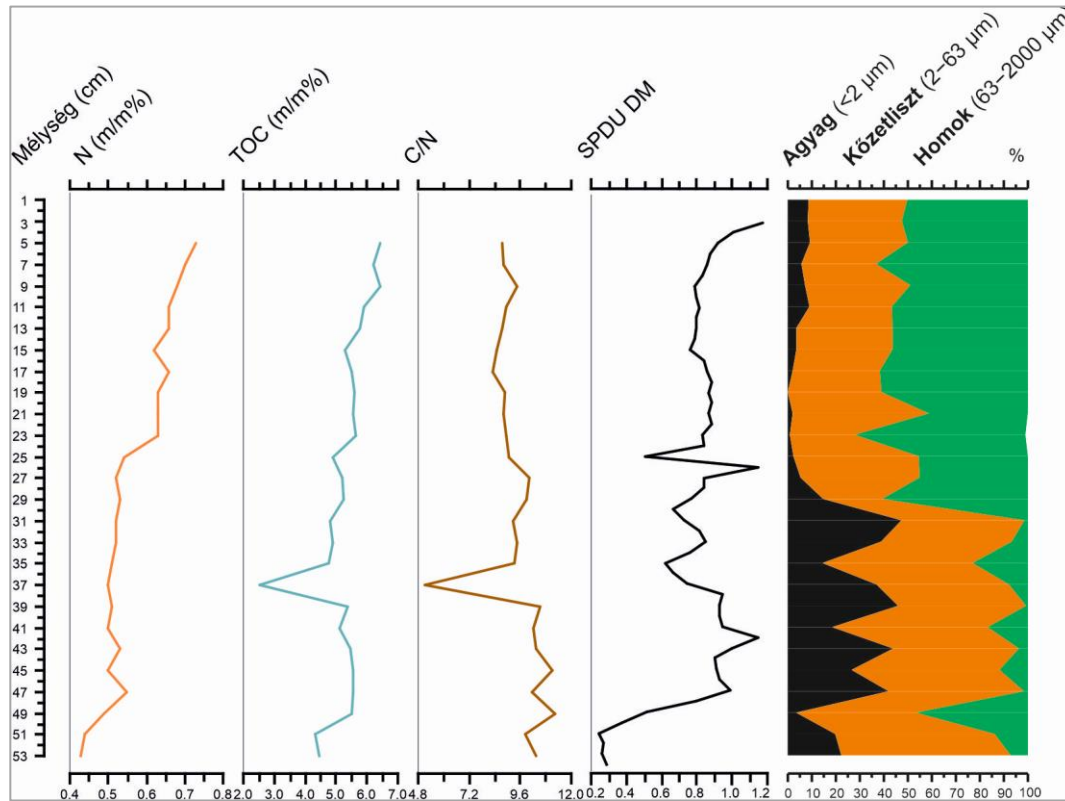
Az üledék szárazanyag-tartalmához viszonyított SPDU értékek összességében szintén növekvő tendenciát mutatnak az üledékfurat által lefedett időszakban (2. ábra), a planktonikus algák mennyiségi növekedését jelezve. Az 51. cm-től kezdődően a 47. cm-ig a klorofillszármazékok mennyiségének meredek emelkedését tapasztaltuk (0,25-től 1 ABS/gDM⁻¹). Az árvaszúnyog-fauna a következő fejezetben bemutatott változásai alapján ez a furatszaksz 90-es éveket fedi le. A 25. cm-nél egy hirtelen csökkenést mutattunk ki (1,14-ről 0,5 ABS/gDM⁻¹) majd az értékek újbóli meredek emelkedését, ami egyidejűleg a TbN és TOC adatsorban is látható volt. Ez a vízminőség rövid időn belüli gyors változására, többlettápanyag tározóba jutására utal. A legfelső üledékszakszonon, a felső 5 cm-en az SPDU értékek újbóli gyors emelkedését mértük. A gyors a-klorofill emelkedés adódhatott a tározóba jutó szervesanyag mennyiségi növekedéséből vagy az igen fiatal üledékmin-tákban még nem lebomlott pigmentek méréséből. A KDTVIZIG részéről 1986-tól állnak rendelkezésre a-klorofill adatok (bár 1991-1995 között nem történt mérés), amelyek erős fluktuációval, de szintén növekvő trendet mutattak.

Az üledék szemcseméret-eloszlása (2. ábra) jelentős változásokat mutat a furat mentén. A 31. cm-ig az agyag és a közetliszt arányának erőteljes változásai láthatók, ami a tározó vízszintváltozásaival lehet összefüggésben. Az agyagos közetliszt alkotta üledék ártéri öntéstalajnak feleltethető meg, ami szezonális áradásokra és ártéri üledék-képződésre utal. A 31. centimétertől felfelé a periodikus változás megszűnt, és az üledéket túlnyomóan homok alkotta (átlag: 54,7%), de a közetliszt is jelentős arányt kép-

viselt (átlag: 39,8%). Az agyagfrakció aránya a 11. cm-től kezdődően mutat újbóli emelkedést, de az üledék összetételéhez való hozzájárulása továbbra is alacsony marad (8% körül). Az agyagfrakció minimuma a 19. cm-nél volt mérhető, ahol az üledék egyáltalán nem tartalmazott az agyagfrakcióba tartozó méretű szemcséket, míg a maximumot a 31. cm-nél mértük (47,4%).

A kőzetliszt (iszap) magas aránya a kotrás hiányát és emiatt a tározó feliszapolódását is alátámaszthatja. Az üle-

dék összetételének változása a kisebb szemcseméretű kőzetliszt és agyag irányába (pl. 21. cm, 25-27 cm) a tópart növényzeti borítottságának növekedésére is utalhat, míg a homokfrakció felé való eltolódás a tóparti vegetáció csökkenését (Magyari 2015) vagy a Császár-víz időszakos vízhozam-változásait (Gábris 2022) jelezheti (pl. 29., 23., 7. cm). Az agyagtartalom a 19. cm-től a furat tetejéig terjedő üledékszakasban a TOC-hez és a TbN-hez hasonlóan emelkedő tendenciát mutatott (2-ről 8,7%-ra).



2. ábra. A Pátkai-tározó Pátkai-t-2 üledékéből mért összes kötött nitrogéntartalom (TbN), teljes szerves széntartalom (TOC), szén-nitrogén arány (C/N: carbon/nitrogen), a klorofillszármazékok aránya (SPDU) a száraz tömegre vonatkoztatva és a szemcseméret-eloszlás a mélység függvényében ábrázolva

Figure 2. Total bound nitrogen content (TbN), total organic carbon content (TOC), C/N ratio, ratio of chlorophyll-derivatives (SPDU) relative to dry weight and the result of the particle size analysis from the sediment of the Pátkai-t-2 gravity core

A Pátkai-tározó üledékfuratából elemzett

árvaszűnyog-fauna leírása és összetételbeli változásai

Az üledékből összesen 29 taxont határoztunk meg. Összességében a tározóra melegvízi, változó oxigén-ellátottságú, többnyire mezo-eutróf viszonyokat jelző fauna jellemző. A Pátkai-tározó árvaszűnyog-együtteseit a mélység mentén bemutató diagramon (3. ábra) CONISS alapján 3 fő zónát különítettünk el. A legélesebb váltást a faunában a 40. cm-nél tapasztaltuk. A 42. cm alatt, a P1 zónán belül (42-54 cm) az árvaszűnyog-közösség összetételét feltételezésünk szerint jelentősen befolyásolta a tározó 1992-es lecsapolása, majd 1994-es újra feltöltése (<https://geocaching.hu/poi.geo?id=17204>). A P1 zónára alacsony fajszám (15) és egyedszám (6,5 fejkapszula/cm³) volt jellemző. A zónán belül (főleg a 44,5. cm mintájában) viszonylag magas abundanciával találtuk az alacsony vízszintet, akár kiszáradt állapotot jelző fajokat is magában foglaló *Smittia/Parasmittia* taxont (10,2%) (Andersen és társai 2013), amely a tározó lecsapoló állapotával függhet

össze. A *Dicrotendipes notatus*-típus (7,6%) előfordulhat folyóvízi környezetben (Brooks és társai 2007), illetve a 44,5. cm mintájában kis abundanciában jelen lévő *Rheocricotopus effusus*-típus (3,9%) kifejezetten áramláskedvelő (reofil) taxon (Brooks és társai 2007), melynek jelenléte a lecsapolás idején a területen elgátolás nélkül keresztülfolyó Császár-vízzel magyarázható. A *Chironomus plumosus*-típus (25,8%) elsősorban állóvízi, de vízfolyásokban is előforduló opportunist taxon (Brooks és társai 2007). Paterson és Fernando 1970-ben *Chironomus* fajokat azonosított egy kanadai víztározó első kolonizálóiként, ez alapján a taxon nagy gyakorisága a P1 zónán belül magyarázható a víztározó újbóli feltöltésével kialakuló új életterek gyors elfoglalásával. A magyar szakirodalomban is találunk eredményeket a sekély vízi tározók árvaszűnyog-faunájára vonatkozóan. Csépes és társai (2007, 2012) a Kiskörei-víztározó vizsgálata során az állóvízi környezetet jelölő *Chironomus plumosus*-típus elterjedését szintén a tározó létrehozásával hozták összefüggésbe;

Berczik a Velencei-tó árvaszúnyog-faunáját elemezve 1957-ben úgyszintén a *Chironomus plumosus*-típus dominanciáját mutatta ki (Berczik 1957), illetve Kucserka és társai (2008) eredményei is a *Chironomus*-t azonosították domináns csoportként a Major-tóban. Mindezek alapján az 51,5 cm mintájából feltárt fauna (a domináns *Chironomus plumosus*-típussal) a tározó lecsapolása előtti állapotot mutathatja, míg a zónán belül a 44,5. cm-ből vizsgált árvaszúnyog-közösséget a lecsapolás már jelentősen befolyásolta. Az üledékből mért SPDU-koncentráció, illetve TOC- és TbN-tartalom alapján a P1 zónán belül a lecsapolás előtti állapotot és vízminőséget jelölhetjük ki a furat által lefedett időszakon belül jó (a Velencei-tó vízpótlására alkalmas) ökológiai állapotnak, amelynek elérésére és fenntartására a vízminőség-javító intézkedések során törekedni kell.

A második zónában (P2, 17-42 cm, 3. ábra), az első zónától erősen eltérő faunát találtunk, ami a tározó eutrofizálódásával magyarázható. A *Polypedilum nubeculosum*-típus (12%) elterjedése mezo- és eutróf viszonyokra utal (Brooks és társai 2007). A legdominánsabb taxon, a *Cladotanytarsus mancus*-típus 2 (28%) változatos trofitási viszonyok között él, jelenléte általában meleg vizet és jó oxigénellátottságot jelöl (Gandouin és Franquet 2002) mezo-, illetve eutróf környezetben (Langdon és társai 2006). A *Cricotopus intersectus*-típus magas abundanciája (12,5%) és a *Glyptotendipes pallens*-típus (3,7%) jelenléte is jó oxigén-ellátottságú vizet jelez, emelkedő produktivitással (Langdon és társai 2006), valamint a vízinövényzet jelenlétét a parti (litorális) zónában (Andersen és társai 2013). A zóna közepén megjelenő *Psectrocladius sordidellus*-típus (2,3%) is kötődhet növényzethez (Brodersen és társai 2001). Az alacsony oxigéntartalmat jól toleráló *C. plumosus*-típus (Moller Pillot 2013) relatív abundanciájának csökkenése (25,8-ról 4,2%-ra) szintén alátámasztja a jó oxigénellátottságot. A *Cladopelma laccophila*-típus (7,3%), a *P. sordidellus*-típus (1,4%), a *Tanytarsus mendax*-típus (1,8%) és az *Endochironomus albipennis*-típus (2,9%) kis relatív abundanciával jelen vannak ebben a zónában, ami csökkenő pH-t, savanyodó környezetet jelezhet (Brooks és társai 2007). A zóna középső részében megjelenő *Paratanytarsus penicillatus*-típus (3,2%) és a *T. mendax*-típus is melegebb vizekhez kötődik (Brooks és társai 2007). Ezt a zónát összességében sekély vízszint), mezotróf-eutróf trofitási viszonyok, jó oxigénellátottság és savanyodó körülmények jellemezték. A fejkapszula-koncentráció (25,25 fejkapszula/cm³) és a fajszám (23) közel egyidejű tetőzése (29-35. cm) valószínűleg visszavezethető a duzzasztás miatt kialakult új élőhelyek benépesülésére. Számos szerző (Ali és társai 2002, Papas 2007, Tessier és társai 2008) pozitív összefüggést talált a makrogerinctelen közösségek diverzitása és mennyisége, valamint a vízi makrovegetáció komplexitása, heterogenitása között, így a kimutatott magas denzitás és taxonszám a növényállomány típusának változásaira is utalhat. A fajszám tetőzése akár közepes szintű zavarást is jelezhet, úgymint medertisztítást (Nagy és Andrikovics 2006) (ami a Pátkai-tározó esetében nem történt) vagy a növényzet levágását, ugyanis Csabai és társai (2001) szerint ilyenkor a növényzethez kötődő taxonok a vízbe menekülnek. Más vizsgálat megállapítása szerint a növényzet

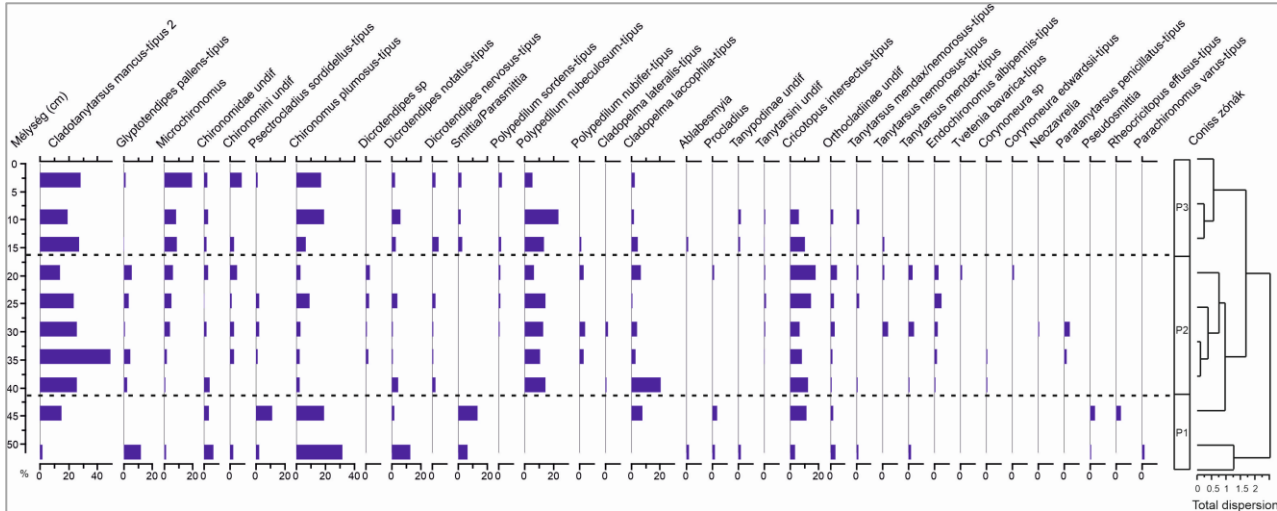
levágása nem befolyásolja a metafitikus árvaszúnyogok mintavételének hatékonyságát (Tóth és társai 2008), mert az egyedek nem menekülnek el, csak megbújnak a növények között. Szító (1997) a Kis-Balaton esetében a megnövekedett egyed- és fajszámot a magasabb oldott oxigéntartalmú környezettel magyarázta, ami a Pátkai-tározó P2-es zónájában adott volt az árvaszúnyog-fauna összetételét, azaz az oxigéntartalomra nézve szűktűrűsű taxonok magas abundanciájú jelenlétét tekintve. A magasabb oldott oxigéntartalom összefüggésben lehet vízkormányzással összefüggő vízáramlással is (Szító 1999), mert a vízmozgás miatt beoldódik annyi oxigén a vízbe, amennyi az alkalmazkodóképes árvaszúnyogfajok lárváinak már elegendő.

Méhes és társai (2017) nyugat-magyarországi tavakat és tározókat magában foglaló kutatása is elsősorban az eutróf és mezotróf vizekben jellemző, vízi vegetációhoz kötődő taxonok alkotta árvaszúnyog-együtteseket tárt fel a felszíni üledékből. Legnagyobb mennyiségben *Chironomus plumosus*-, *Dicotendipes nervosus*-, *Glyptotendipes pallens*-, *Polypedilum nubeculosum*-típusú, valamint *Microchironomus* és *Procladius* maradványokat találtak az üledékmintákban, ami a Pátkai-tározó üledékének 2. zónájában feltárt faunával igen nagy egyezést mutat.

A harmadik zóna (P3, 1-17 cm, 3. ábra) legszembetűnőbb változása a *C. plumosus*-típus relatív abundanciájának növekedése (4,2-ről 14,5%-ra), ami a tófenék oxigénellátottságának csökkenését jelzi (Moller Pillot 2013). A *C. plumosus*-típus arányának növekedése kapcsolatban állhat a szervesanyag-tartalom növekedésével (Brooks és társai 2007) is. Az alacsony oxigéntartalmat támasztja alá a *Glyptotendipes pallens*-típus arányának csökkenése is (3,7-ről 0,7%-ra) (Brodersen és társai 2001), a *C. intersectus*-típus fokozatos eltűnése és összességében a *Dicotendipes* fajok némileg magasabb aránya (6,7%) (Brodersen és Quinlan 2006). Az oxigénhiány nagy valószínűséggel a kotrás hiánya miatt a tározó aljzatára süllyedő nagy mennyiségű szervesanyag bomlására vezethető vissza (a leülepedő szervesanyag bomlása oxigént von el a környezetből). A *Smittia/Parasmittia* újbóli feltűnése (2,7%) alacsony vízszintet jelez, ami a könnyebb felmelegedésből adódóan az oxigénhiányos állapothoz szintén hozzájárulhatott. A szervesanyag-többlet származhat a Császár-víz felső szakaszán telepített halastavakból, illetve a horgászok által használt etetőanyagból is. A *Microchironomus* relatív abundanciája úgyszintén növekszik ebben a zónában (3,9-ről 12,6%-ra). Ez a két taxon (Brodersen és Lindegaard 1999) a *Polypedilum nubeculosum*-típussal együtt (Brooks és társai 2007) a fokozódó eutrofizáció indikátoraként is ismert. A vízinövényzet visszaszorulhatott a fúráspontra a furat tetején, ezt erősíti a *C. intersectus*-típus fokozatos eltűnése, az *E. albipennis*-típus eltűnése, illetve a *D. notatus*-típus és *D. nervosus*-típus csökkenése (2,9%-ra) (Brooks és társai 2007). Mindezek alapján a P3 zónát oxigénhiányos állapot, csökkenő vízinövényzet-borítottság és fokozódó trofitás jellemezte. A fajszám, a fajdiverzitás, illetve a fejkapszulaszám csökkenése szegényedő faunát jelez. Az árvaszúnyog-közösség szűkülő életviszonyait a tágtűrűsű taxonok magas relatív gyakorisága is mutatja.

Csépes és társai (2012, 2013) 2004 és 2008 közötti, a Kiskörei-víz-tározó tározóterének üledékében élő árvászúnyog-taxonjaira vonatkozó vizsgálata is a Pátkai-tározó P1-es és P3-as zónájában magas arányban jelen lévő *Chironomus plumosus*-típus nagy gyakoriságát mutatta ki a *Procladius* (*Holotanypus*) sp. és a *Chironomus annularius* fajokkal, amelyek együttesen >70%-os előfordulási gyakorisággal voltak jelen az üledékben. Ezen kívül a Kis-

körei-víz-tározóban a folyóvizekre jellemző taxonok (például a *Paratendipes* spp.) előfordulása azt jelzi, hogy a víz áramlása átmenetileg jelentős lehet az egyébként állóvízű területeken is. Ezzel szemben a Pátkai-tározó üledékében a tározó leengedésével, majd újra feltöltésével járó jelentős vízszintváltozásokat reprezentáló P1-es zónát leszámítva nem találtunk áramlásjelző taxonokat, azaz a tározó vízében jelentős mértékű áramlás nem tapasztalható a fauna alapján.



3. ábra. A Pátkai-t-2 furat üledékében található árvászúnyogfajokból készült relatív gyakorisági diagram.

A zónák megállapítása hierarchikus klaszter analízissel (CONISS) történt (Grimm 1987)

Figure 3. Relative abundance diagram of the chironomid taxa from the sediment of the Pátkai-t-2 gravity core.

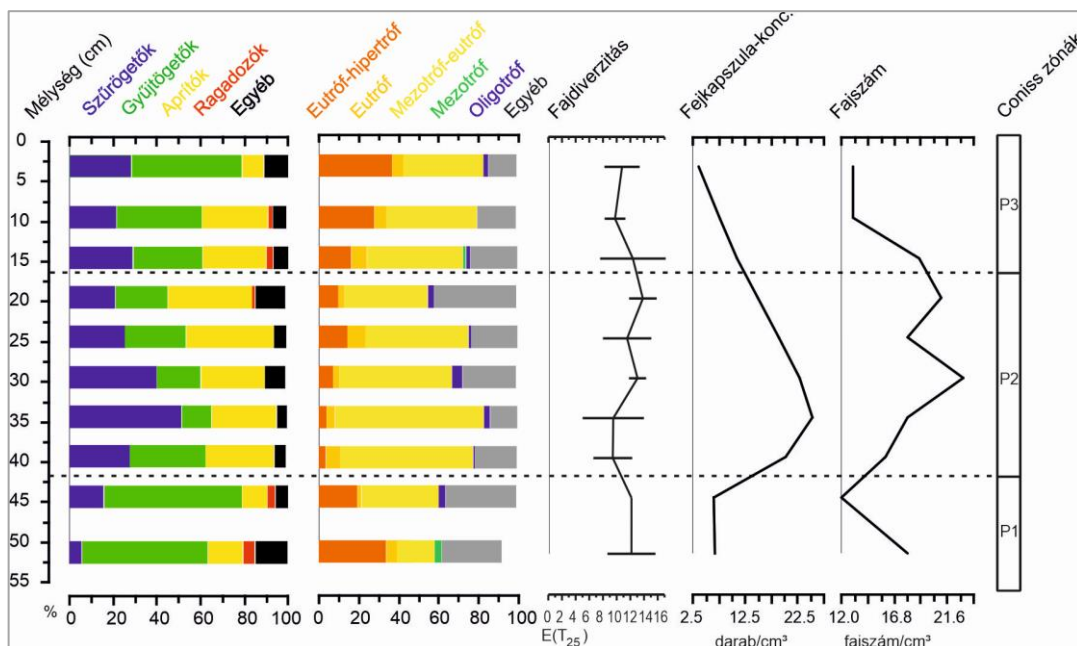
For zonation hierarchic cluster analysis (CONISS) was applied (Grimm 1987)

A Pátkai-tározó árvászúnyog-faunája – táplálkozási típusok, trofitási csoportok

A Pátkai-tározó árvászúnyog-taxonjait táplálkozási szempontjából is csoportosítottuk (4. ábra). Az alsó (P1) zónában a gyűjtőgetők magas aránya (60,1%) kevésbé finom szemcsés, a tőfenékre lerakódó szervesanyag bemosódására utal. Ez lehet a tározó 1992-es leeresztésének következménye, ugyanis 1994-ig a Császár-víz elgátolás nélkül folyt át a tározó területén, amely során behordhatott durvább szemcsés szervesanyagokat. A második zónában a szűrőgető (leginkább *C. mancus*-típus 2) és aprító taxonok aránya erőteljesen nő (10,7-ről 33,4%-ra), ami utalhat az eutrofizálódásra, a tavi tápanyagtartalom emelkedésére és a vízinövény-borítottság növekedésére (Luoto és Nevalainen 2015). A vízi növények szöveteivel táplálkozó aprítók arányának növekedése egybeesik az összes kötött nitrogéntartalom (2. ábra) 23. cm-nél tapasztalható kismértékű emelkedésével (0,54-ről 0,63%-ra), alátámasztva a fokozódó eutrofizációt. A legfelső zóna tetején az aprítók relatív gyakorisága csökken (34,1-ről 23,2%-ra), a gyűjtőgetők aránya pedig nő (40,2%) (a *C. plumosus*-típus és *Microchironomus* arányának növekedése miatt), ami a vízinövényzet visszaszorulását jelzi. A vízben lebegő és oldott, finom szemcsés szervesanyag-

gal táplálkozó szűrőgetők (Luoto és Nevalainen 2015) arányának a 35. cm-nél tapasztalható megnövekedése (28,4-ről 51,5%-ra) és a gyűjtőgetők arányának csökkenése a 37. cm-ben mérhető TOC-csökkenéssel és a C/N arány csökkenésével (2. ábra) állítható párhuzamba. Ezek a változások a külső eredetű, kevésbé finom szemcsés szervesanyag mennyiségi csökkenését jelezhetik (Perdue és Koprivnjak 2007), mivel a TbN-ben (0,5%) nem tapasztaltunk változást ennél a centiméternél.

A Pátkai-tározó faunája trofitási preferencia szempontjából is átrendeződést mutatott a tározó lecsapolását követő időszakban (42-0 cm) (4. ábra). A felső zónában emelkedett arányban jelen lévő *Microchironomus* és *Chironomus plumosus*-típus az eutróf-hipertróf vizek indikátoraként értelmezhető, illetve a *Chironomus* fajok terjedése mindenképpen növekvő trofitást jelez (Brodersen és Quinlan 2006). Ez alapján a fauna P3 zóna alján (17. cm) kezdődő átrendeződése a trofitás növekedésével is magyarázható. A *C. plumosus*-típus elterjedése a horgászok etetőanyagával, a felhalmozódó mederüledék miatt jelentkező magas foszfor-szinttel és a lebontó folyamatok intenzifikálódásából adódó gyakori anoxiával lehet magyarázható (Langdon és társai 2006).



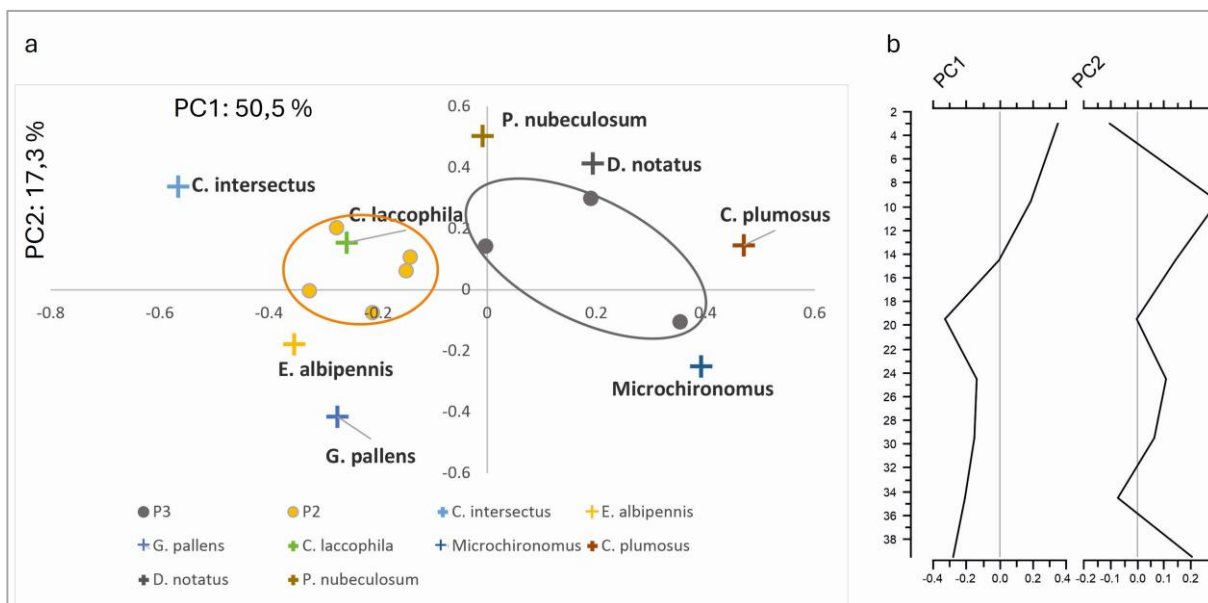
4. ábra. A Pátkai-t-2 furat üledékéből meghatározott árvászúnyog-taxonok táplálkozási típus szerinti osztályozása, trofitási tolerancia szerinti osztályozása, fajdiverzitás (chironomid richness), fejkapszula-koncentráció, fajszám. A zónák megállapítása hierarchikus klaszter analízissel (CONISS) történt (Grimm 1987)

Figure 4. Chironomid feeding guilds, composition regarding trophic tolerance, taxon diversity (chironomid richness), head capsule concentration and taxon number from the sediment of the Pátkai-t-2 gravity core. For zonation hierarchic cluster analysis (CONISS) was applied (Grimm 1987)

Milyen környezeti hatótényezők lehetnek felelősek a Pátkai-tározó árvászúnyog-közösségének változásáért?

A faunára futtatott PCA első két tengelye az összvariancia 68%-át magyarázza, az első tengely mentén az összvariancia 50,5%-át tudjuk kifejezni (5. ábra). A PC1-es tengely mentén pozitív főkomponens súlyokat („loading”) (Podani 1997) mutató taxonok a *Microchironomus* (0,39) és a *C. plumosus*-típus (0,47). Mindkét taxon relatív abundancianövekedése fokozódó eutrofizálódást jelez (Langdon és társai 2006). A PC1-es tengely mentén negatív fő-

komponens súlyokat mutató taxonok (*C. intersectus*-típus, *C. laccophila*-típus, *E. albipennis*-típus, *G. pallens*-típus) mezo-eutróf viszonyokhoz és jó oxigenizáltsághoz köthetők (Brooks és társai 2007), illetve vízínövények jelenlétét jelzik. Mindezek alapján a PC1 tengely felfogható oxigénellátottsági, trofitási, illetve vízínövény-borítottsági gradiénként. A PC2 tengely az összvariancia 17,3%-át magyarázza, a főkomponens súlyok elrendeződése alapján ökológiai értelemben a tengely nem értelmezhető a jelen kutatás során vizsgált változókat figyelembe véve.



5. ábra. Az árvászúnyog-faunára futtatott főkomponens analízis (PCA) első két tengelye mentén elhelyezkedő árvászúnyogzónák és -taxonok (a), valamint a főkomponens értékek mélység menti ábrája (b)

Figure 5. Chironomid zones and taxa along the first and second axis of the Principal Component Analysis (PCA) applied on the chironomid fauna (a) and the stratigraphic plot of the sample scores (b).

KONKLÚZIÓ

A furat által lefedett időszakban kétszer is jelentős mértékű fauna-átrendeződést tapasztaltunk. A P1 zóna fajösszetételére (42-54 cm) eredményeink alapján a vízszint változásai (a tározó 1992-es teljes leengedése, majd 1994-ben történt újbóli feltöltése) hatással voltak. A második nagymértékű átalakulás a P3 zónában (1-17 cm) a TOC, TBN és az SPDU növekvő tendenciájú változása és a trofikus státusz változásával szorosan kapcsolatban álló taxonok relatív abundancianövekedése alapján az eutrofizáció fokozódásával magyarázható. Ez alapján megerősítést nyert a feltevésünk, miszerint a növekvő tápanyagtartalom és a csökkenő oldott oxigéntartalom jelentős hatást gyakorol az árvaszűnyog-közösség összetételére. A mesterséges eredetű tavak esetében is természetes folyamat az eutrofizálódás, ám a Pátkai-tározó állapotváltozását a kotrás hiánya és a kívülről bejutott tápanyagok jelentősen felgyorsíthatják.

A Kék Bolygó Klímavédelmi alapítvány által megfogalmazott megoldási javaslatban (*Kék Bolygó Alapítvány 2022*) a Velencei-tó 2017 óta negatív vízmérlegének javítását az agárdi tisztított szennyvíz és a Rákhegy karsztvízének többlet engedése segíthetné, de a Zámolyi- és Pátkai-tározók vízminőségének javítása is szükséges a vízpótlási feladat ellátásához. Felmerült egy, a Pátkai-tározót elkerülő csatorna megépítése is, hogy a Császár-víz közvetlenül a Velencei-tóba juthasson, de ehhez a patak vízminőségén is javítani kell.

A kutatás jelenlegi állapotában a területileg illetékes vízügyi igazgatóság számára a vízminőség javítása érdekében megfogalmazható javaslataink a tározó mihamarabbi kotrása, a horgászat észszerű keretek közt tartása, valamint a befolyó Császár-víz vízhozamának növelése (vízviasztartás korlátozása). Ezek figyelembe vételével valószínűleg lehetővé válna az emberi hatásra fokozódó eutrofizáció mérséklése. Jelen helyzet fokozódásával az egyre gyakoribb száraz nyarakon számolnunk kell azzal, hogy a tározó területének nagy részét pangó víz tölti majd ki, amelyben oxigén alig lesz jelen. Az oldott oxigénszint csökkenésének és a szervesanyag növekedésének hatására az üledék-lakó árvaszűnyog-közösség már jelentős visszaszorulást mutatott a Pátkai-tározó P3 zónájában mind egyed-, mind fajszámot tekintve, de a következő években teljesen el is tűnhet a tározóból.

A munka további részében a recens árvaszűnyog-fauna vizsgálatát tervezzük, ami lehetőséget ad majd a vízi makroinvertebráták alapján történő vízminősítésre. Az Országos Vízügyi Főigazgatóság Duna részvízgyűjtőre vonatkozó információi (*OVF 2020*) között nincsenek árvaszűnyogadatok, így a tervezett vizsgálat eredményei jó kiegészítői lesznek a Duna részvízgyűjtő 2022-ben kiadott vízgazdálkodási tervének.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az NKFIH Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium projektjének (RRF-2.3.1.-21-2022-00014) anyagi támogatásával valósult meg.

Az ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékéhez tartozó Öskörnyezet- és Klímaváltozás Kutatócsoport Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium pro-

jektje (RRF-2.3.1.-21-2022-00014) a Pannon térség tavainak (pl. Balaton, Velencei-tó, Pátkai-tározó, déli-kárpáti magashegységi tavak) referenciaállapotának megadásával, a korai figyelmeztető jelenségek meghatározásával segíti majd a tervezést az ökoszisztémákra jellemző határértékjellegű összeomlás elkerülésére a biztonságos működési tartomány meghatározásával (*Dearing és társai 2014*). Az 1975-ben létesített Pátkai-víztározót turisztikai és gazdasági jelentősége folytán tartjuk érdemesnek a vizsgálatra.

Köszönettel tartozunk Temesi Mihálynak, a velencei-tavi tófelügyelőség vezetőjének a rendelkezésünkre bocsátott hasznos információkért és adatokért. Köszönjük a KDTVIZIG, különösképpen Kiss Péter Dinnyési-fertő TT kapcsolattartó segítségnyújtását a fúrás során.

IRODALOMJEGYZÉK

- Ali, A., Frouz, J., Lobinske, R.J. (2002). Spatio-temporal effects of selected physico-chemical variables of water, algae and sediment chemistry on the larval community of nuisance Chironomidae (Diptera) in a natural and a man-made lake in central Florida. *Hydrobiologia* 470, 181-193. <https://doi.org/10.1023/A:1015696615939>
- Andersen, T., Sæther O.A., Cranston, P.S., Epler, J.H. (2013). The larvae of Orthocladinae (Diptera: Chironomidae) of the Holarctic Region – Keys and diagnoses. In: Andersen, T., Sæther, O. A., Cranston, P. S., Epler, J. H. (eds). *Chironomidae of the Holarctic Region. Keys and diagnoses. Larvae. Insect Systematics & Evolution, Suppl.* 66. pp. 189-386.
- Berczik Á. (1957). Chironomidák, és a tótipustan néhány hazai kérdése [Chironomiden und einige heimische Fragen der Seetypenlehre]. *Állattani Közlemények* 46/1-2. pp. 33-41.
- Birks, H.J.B., Line, J.M. (1992). The use of rarefaction analysis for estimating palynological richness from Quaternary pollen-analytical data, *The Holocene* 2. pp. 1-10. <https://doi.org/10.1177/095968369200200101>
- Brodersen, K.P., Odgaard, B.V., Vestergaard, O., Anderson, N.J. (2001). Chironomid stratigraphy in the shallow and eutrophic Lake Søbygaard, Denmark: chironomid-macrophyte co-occurrence. *Freshwater Biology* 46(2). pp. 253-267. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00652.x>
- Brodersen, K.P., Quinlan, R. (2006). Midges as palaeoindicators of lake productivity, eutrophication and hypolimnetic oxygen. *Quaternary Science Review* 25 (15-16). pp. 1995-2012. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.020>
- Brodersen, K., Lindgaard, C. (1999). Classification, assessment and trophic reconstruction of Danish lakes using chironomids. *Freshwater Biology*, 42. pp. 143-157. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00457.x>
- Brooks, S.J., Langdon, P.G., Heiri, O. (2007). The Identification and Use of Palaeoartic Chironomidae Larvae in Palaeoecology. QRA Technical Guide No. 10. Quaternary Research Association, London. <https://doi.org/10.1007/s10933-007-9191-1>

- Csabai Z., Móra A., Müller Z., Dévai Gy. (2001). Az Aqualex mintavételi hatékonyságának elemzése. Hidrológiai Közlöny 81/5-6. pp. 337-338.
- Csépes E., Móra A., Aranyiné Rózsavári A., Bancsi I., Kovács P. (2007). A Kiskörei-tározó Sarudi- és Poroszlói medencéiben végzett üledék-vizsgálatok árvaszúnyog (Chironomidae) együttesekre vonatkozó faunisztikai eredményei. Hidrológiai Közlöny 87/6. pp. 61–63.
- Csépes E., Tóth M., Móra A. (2012). The chironomid fauna of the reservoir Kiskörei-tározó (Diptera: Chironomidae). Acta Biologica Debrecina Supplementum Oecologica Hungarica 27. pp. 15-26.
- Csépes E., Berényi Á., Teszárné Nagy M. (2013). A Kiskörei-tározó növényzet közötti árvaszúnyog faunájának (Diptera: Chironomidae) változása az elmúlt évek szélsőséges tiszai vízjárásának következtében. Hidrológiai Közlöny, 93. 5-6. pp. 23-26.
- Dearing, J., Wang, R., Zhang, K., Dyke, J., Haberl, H., Hossain, S., Langdon, P., Lenton, T., Raworth, K., Brown, S., Carstensen, J., Cole, M., Cornell, S., Dawson, T., Doncaster, P., Eigenbrod, F., Flörke, M., Jeffers, E., Mackay, A., Nykvist, B., Poppy, G. (2014). Safe and just operating spaces for regional social-ecological systems. Glob. Environ. Chang. 28. pp. 227-238. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.012>
- Eggermont, H., Heiri, O. (2012). The chironomid-temperature relationship: expression in nature and palaeoenvironmental implications. Biol. Rev. 87 (2), pp. 430-456. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00206.x>
- Gábris Gy. (2022). A folyóvíz felszínalakító tevékenysége Magyarországon. Kiadó: Dr. Kacs Kovics Imre, az ELTE Természettudományi Kar dékánja, 1117 Budapest, Pázmány Péter stny. 1/A. p.183.
- Gandouin, E., Franquet, E. (2002). Late Glacial and Holocene chironomid assemblages in Lac Long Inférieur (southern France, 2090 m): palaeoenvironmental and palaeoclimatic implications. Journal of Paleolimnology 28(3). pp. 317-328. <https://doi.org/10.1023/A:1021690122999>
- Gannon, J. E. (1971). Two counting cells for the enumeration of zooplankton microcrustacea. Transaction of the American Microscopical Society 90. pp. 486-490. <https://doi.org/10.2307/3225467>
- Gee, G.W., Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. In: Klute (szerk.): Methods for soil analyses. Part 1. (2nd ed.) Agron. Monogr. Vol 9. pp. 383-411. ASA and SSSA, Madison, WI. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15>
- Giesecke, T., Ammann, B., Brande, A. (2014). Palynological richness and evenness: insights from the taxa accumulation curve, Vegetation History and Archaeobotany 23. pp. 217-228. <https://doi.org/10.1007/s00334-014-0435-5>
- Grimm, E.C. (1987). CONISS: A FORTRAN 77 Program for Stratigraphically Constrained Cluster Analysis by the Method of the Incremental Sum of Squares. Computer and Geosciences, 13. pp. 13-35. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7)
- Haliuc, A., Buczkó K., Hutchinson, S., Ács É., Magyar E., Korponai J., Begy, R., Vasilache, D., Zak, M., Veres D. (2020). Climate and land-use as the main drivers of recent environmental change in a mid-altitude mountain lake, Romanian Carpathians. PLoS One 15. pp. 1-29. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239209>
- Heiri, O., Lotter, A.F. (2010). How does taxonomic resolution affect chironomid-based temperature reconstruction? Journal of Paleolimnology 44 (2). pp. 589-601. <https://doi.org/10.1007/s10933-010-9439-z>
- Holmes, N. (2014). Chironomid analysis: background, methods and geomorphological applications. Geomorphological Techniques 1 (3). pp. 1-12.
- KDTVIZIG (2023) A Közép-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KDTVIZIG) honlapján közzétett vízmérlegek (1986-2021), <http://www.kdtvizig.hu/kozep-dunantuli/vizgazdalkodas-vizszolgaltatas/csatolmanyok/velencei-to-vizmerleg>
- Kék Bolygó Alapítvány (2022). Javaslat a Velencei-tó fenntartható vízpótlására, Vízpótlási lehetőségek a tó vízhasználati feltételeinek biztosítására az időjárási szélsőségek, a területi és vízhasználati változások függvényében. A Kék Bolygó Alapítvány által felkért munkacsoport. p. 36.
- Kucserka T., Tátrai I., György Á.I. (2008). Makrozoobentosz tér- és időbeli eloszlása, valamint mennyiségi viszonyai a Kis-Balaton Tározó Major-taván [The spatial and temporal distribution of macrozoobenthos and its quantitative characteristics in Lake Major at Kis-Balaton Reservoir] – Hidrológiai Közlöny 88/6. pp. 118–120.
- Langdon, P.G., Ruiz, Z.O.E., Brodersen, K.P., Foster, I.D. (2006). Assessing lake eutrophication using chironomids: understanding the nature of community response in different lake type. Freshwater Biology 51(3). pp. 562-577. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01500.x>
- Legendre, P., Gallagher, E.D. (2001). Ecologically Meaningful Transformations for Ordination of Species Data. (September 2000). pp. 271-280. <https://doi.org/10.1007/s004420100716>
- Luoto, T.P., Nevalainen, L. (2015). Climate-forced patterns in midge feeding guilds. Hydrobiologia 742 (1). pp. 141-152. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1973-7>
- Madarász B., Jakab G., Szalai Z., Juhas K. (2012). Lézeres szemcseösszetétel elemzés néhány előkészítő eljárásának vizsgálata nagy szervesanyag-tartalmú talajokon. Agrokémia és Talajtan 61:(2.). pp. 381-398. <https://doi.org/10.1556/agrokem.60.2012.2.11>
- Magyari E. (2015). A Kárpát-medence és DK-Európa késő pleniglaciális és holocén vegetációfejlődése különös tekintettel a gyors felmelegedési és lehülési hullámokra mutatott vegetációs válaszokra. MTA doktori értekezés. Budapest. p.176.
- McCave, N., Syvitski, J.P.M. (1991). Principles and methods of geological particle size analysis. In: Syvitski, J. P. M. (Eds.): Principles, methods and application of particle size analyses. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 3-22. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626142.003>

- Méhes N., Harangi S., Kundrá T., Korponai J. (2017). Nyugat-magyarországi tavak és víztározók árvaszúnyog (Diptera, Chironomidae) együtteseinek felmérése az üledékben megőrződött maradványok alapján. In: XIII. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia és Szakmai Találkozó (MaViGe) (2017). Program és kivonatok, szerkesztő: Móra Arnold, Pécs.
- Moller Pillot, H.K.M. (2013). HKM Chironomidae Larvae of the Netherlands and Adjacent Lowlands. Biology and Ecology of the aquatic Orhocladiinae. KNNV Publishing, Zeist. p. 270.
- Nagy B., Andrikovics S. (2006). Vízi gerinctelenek minőségi és mennyiségi változásairól egy gyakori természetvédelmi beavatkozás során (Szalajka-patak, BNP). In: III. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia (MaViGe) (2006). Programfüzet, szerkesztő: Dr. Oertel Nándor, Göd.
- OVF (2020). Az Országos Vízügyi Főigazgatóság által közreadott Vízyűjtő-gazdálkodási Tervek Duna részvízyűjtőre vonatkoztatott adatai - <https://vizeink.hu>
- Papas, P. (2007). Effect of macrophytes on aquatic invertebrates – a literature review. Freshwater Ecology, Arthur Rylah Institute for Environmental Research, Technical Report Series No. 158, Department of Sustainability and Environment, Melbourne; Melbourne Water, Melbourne, Victoria. p. 30. <https://doi.org/10.13140/2.1.1176.0327>
- Paterson, G.C., Fernando, C.H. (1970). Benthic Fauna Colonization of a New Reservoir with Particular Reference to the Chironomidae. Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 27(2). pp. 213-232. <https://doi.org/10.1139/f70-030>
- Perdue, M., Koprivnjak, J. (2007). Using the C/N ratio to estimate terrigenous inputs of organic matter to aquatic environments, Estuarine, Coastal and Shelf Science Volume 73, Issues 1-2. pp. 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.12.021>
- Podani J. (1997). Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeltárás rejtelmeibe, Scientia Kiadó, Budapest, pp. 211-219.
- Smol, J.P., Birks, H.J.B., Last, W.M. (Eds.) (2001). Tracking Environmental Changes Using Lakes Sediments. Kluwer, Dordrecht. pp. 43-66. <https://doi.org/10.1007/0-306-47671-1>
- Szabó Z., Buczkó K., Haliuc A., Pál I., Korponai J., Begy R., Veres D., Luoto T., Zsigmond A., Magyar E. (2020). Ecosystem shift of a mountain lake under climate and human pressure: A move out from the safe operating space. Sci. Total Environ. 743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140584>
- Szító A. (1997). Prognózis az üledékfauna szerepére és jelentőségére a Kis-Balaton II. ütem védőrendszerében. Hidrológiai Közlöny, 77/1-2. pp. 50-51.
- Szító A. (1999). Hínár növényeken élő árvaszúnyog fajok szezonális dinamikája és indikátor szerepe a Kis-Balaton Védőrendszer II. ütemében. Hidrológiai Közlöny, 79/6. pp. 378-380.
- Taylor, K.J., Potito, A.P., Beilman, D.W., Ghilardi, B., O'Connell, M. (2013). Palaeolimnological impacts of early prehistoric farming at Lough Dargan, County Sligo, Ireland. J. Archaeol. Sci. 40 (8). pp. 3212-3221. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.04.002>
- Tessier, C., Cattaneo, A., Pinel-Alloul, B., Hudon, C., Borcard, D. (2008). Invertebrate communities and epiphytic biomass associated with metaphyton and emergent and submergent macrophytes in a large river. Aquat. Sci. 70: 10-20. <https://doi.org/10.1007/s00027-007-0920-3>
- Tóth M., Móra A., Dévai Gy. (2008). A fitálhoz kötődő árvaszúnyoglárva-együttesek (Diptera: Chironomidae) összetételének alakulása közvetlen zavarás hatására. Hidrológiai Közlöny, 88/6. pp. 211-214.
- Valerio, G., Pilotti, M., Barontini, S., Leoni, B. (2015). Sensitivity of the multiannual thermal dynamics of a deep pre-alpine lake to climatic change. Hydrol. Process. 29. pp. 767-779. <https://doi.org/10.1002/hyp.10183>
- Vallentyne, J.R. (1955). Sedimentary chlorophyll determination as a paleobotanical method. Canadian Journal of Botany, 33(4). pp. 304-313. <https://doi.org/10.1139/b55-026>
- VGT3 (2020). Jelentős vízgazdálkodási kérdések 1-14-Velencei-tó vízyűjtő-gazdálkodási alegység, Vitaanyag, Székesfehérvár.
- Wang, R., Dearing, J.A., Langdon, P.G., Zhang, E., Yang, X., Dakos, V., Scheffer, M., (2012). Flickering gives early warning signals of a critical transition to a eutrophic lake state. Nature 492 (7429). pp. 419-422. <https://doi.org/10.1038/nature11655>
- Wolfe, A.P., Baron, S.J., Cornett, R.J. (2001). Anthropogenic nitrogen deposition induces rapid ecological changes in alpine lakes of the Colorado Front Range (USA), Journal of Paleolimnology 25. pp. 1-7. <https://doi.org/10.1023/A:1008129509322>

Internetes letöltések:

<https://sokszinuvidek.24.hu/viragzo-videkunk/2024/01/26/remalomma-valt-a-patkai-viztarozo-tortenete-leuritik-es-lehalasszak-a-tavat/>

<https://444.hu/2021/10/07/olyan-rossz-minosegunek-bizonyult-a-patkai-tarozo-vize-hogy-nem-lehet-beleengedni-a-velencei-toba>

<https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software/C2Home.htm>

<https://chrono.qub.ac.uk/psimpoll/psimpoll.html>

<https://geocaching.hu/poi.geo?id=17204>

<https://earth.google.com/web/>

A SZERZŐK

TOMBOR ESZTER okleveles geográfus, MSc diplomáját 2017-ben szerezte az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. 2021-től az ELTE TTK Környezettudományi Doktori Iskola Környezeti Földtudomány Programjának hallgatója, kutatási témája magashegyi tavak rövid üledékfuratainak árvaszúnyog- és pollenanalízise, illetve az emberi hatások kimutatása geokémiai analízis és az árvaszúnyog-fauna változásai alapján. 2022 óta az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium RRF-2.3.1.-21-2022-00014 projektjének munkatársa.



KORPONAI JÁNOS okleveles biológus (Kossuth Lajos Tudományegyetem, 1987), a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Vízi Környezettudományi Tanszékének vezetője. Mikroszkopikus rákok és azok maradványai alapján neo- és paleolimnológiai kutatásokat végez. Kutatásai központi témája a planktonrákok szerepének, trofikus kapcsolatainak vizsgálata vízi ökoszisztémákban, valamint az ökoszisztémák rövid- és hosszútávú változásainak elemzése. Az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium RRF-2.3.1.-21-2022-00014 projektjének munkatársa. 1983 óta a Hidrológiai Társaság tagja



SZABÓ ZOLTÁN okleveles geográfus, doktorjelölt, MSc diplomáját az ELTE TTK Környezet- és tájföldrajzi tanszékén szerezte 2018-ban. 2018-2022 között az ELTE TTK Földtudományi Doktori Iskolájának hallgatója. Doktori témája: Árvaszúnyog-alapú öskörnyezet és paleoklíma rekonstrukció a Kárpáti Régióban. 2023 márciusáig az ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékén dolgozott mint egyetemi tanársegéd. Jelenleg a Tolna Vármegyei Kormányhivatal Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Hulladékgazdálkodási Főosztályon dolgozik környezetvédelmi szakügyintézőként. 2019 óta tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.



SZALAI ZOLTÁN okleveles biológia-földrajz szakos tanár (1995) az Eötvös Loránd Tudományegyetem habilitált (2012) egyetemi docense illetve, a HUN-REN CSFK Földrajztudományi Intézet tudományos munkatársa és kutatócsoport-vezetője. Elsődleges szakterületei a környezeti földtudományok és a geoökológia, főbb kutatási területei az emberi tevékenységek táji léptékű hatásai, a talajerózió, a talaj szervesanyag-tartalmának stabilizálódása és a szerves mikroszennyezők talajban történő megkötődése.



KÓBOR ISTVÁN okleveles biológia-kémia szakos tanár (József Attila Tudományegyetem, Szeged, 1991), a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság laborvezetője, elsődlegesen tavak (Balaton, Velencei-tó), tározók és vízfolyások vizsgálatával foglalkozik. Legfontosabb feladatai folyamatos online monitoring rendszerek üzemeltetése és fejlesztése, tápanyagterhelési mérleg készítése, eutrofizációs folyamatok, algásodás vizsgálata. Szakterülete az algológia, a tavi tápanyagforgalmi viszonyok és a tápanyagterhelés. 1994 óta a Hidrológiai Társaság tagja.



MAGYARI ENIKŐ az MTA levelező tagja, biológus-ökológus (Kossuth Lajos Tudományegyetem, 1997), a földtudományok doktora (PhD, Debreceni Egyetem, 2001), egyetemi tanár az ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékén, illetve tudományos tanácsadó az ELKH-MTM-ELTE Paleontológiai Kutatócsoportban. Az Öskörnyezet- és Klímaváltozás Kutatócsoport és az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium RRF-2.3.1.-21-2022-00014 alprojektjének vezetője. 2023 decemberéig tanszékvezető pozícióban dolgozott. Fő kutatási területei a pollen alapú vegetáció- és paleoklíma rekonstrukciók paleoökológiai módszerekkel Közép- és Délkelet Európában az elmúlt 30 ezer évre, a holocén és későglaciális vegetációdinamika, valamint paleogenetika.

Integrált vízgazdálkodás a természeti és társadalmi folyamatok tükrében a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer területén

Pásztor Dávid^{1,2}, Fehér Zsolt^{1,2}, Tamás János^{1,2}

¹ Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi- és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék

² Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi- és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék (e-mail: feher.zsolt@agr.unideb.hu)

DOI: 10.59258/hk.16461



Kivonat

Jelen tanulmány a MIKE Hydro River és a MIKE SHE hidrológiai modellek bemenő adatainak előkészítését ismerteti a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) területére, a régióban tervezett mezőgazdasági vízgazdálkodás informatikai fejlesztése szempontjából. Részletesen ismertetjük a modellek bemeneti adatigényeit a kapcsolódó modellezési folyamatokat, kiemelve a térinformatikai adatok és a mérőállomásokról származó hidrológiai adatok fontosságát, továbbá az alkalmazott adat integrációs megoldásokat. A tanulmány során a TIKEVIR mintaterületére vonatkozóan a modell alkalmazásának számítógépes hatékonyságát, a kalibrálási folyamatokat, valamint a modellezési eredmények gyakorlati implementációjának lehetőségeit taglaljuk a fenntartható vízgazdálkodási gyakorlatokban.

A téma aktualitását adja, hogy a TIKEVIR rendszer megalakulása óta eltelt fél évszázadban számos, a vízgazdálkodáshoz kapcsolódó új kihívásnak is meg kell felelnie, amely az eddigi működtetési gyakorlat felülvizsgálatát igényli. Az újszerű kihívások között tarthatjuk számon a klímaadaptációt, az urbanizációs és ipari folyamatokat, a mezőgazdasági vízgazdálkodás miatt megemelkedő vízigényt, illetve az ezt kielégíteni hivatott újszerű vízkormányzási és víztározási megoldásokat, és alternatív vízkészlet használati módokat. A közlemény javaslatokat fogalmaz meg a döntéshozók szakmai felkészültségének növelésére, a döntéstámogató rendszerekben való integrálásra, a kockázatelemzésre, az adatgyűjtésre és elemzésre. Ezek az intézkedések hozzájárulhatnak a TIKEVIR területén a mezőgazdasági vízgazdálkodás termelési hatékonyságának növeléséhez, a vízgazdálkodási stratégiák optimalizálásához és elősegíthetik a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok szélesebb körű alkalmazását. A tanulmány hangsúlyozza a folyamatos hidrodinamikai fejlesztés fontosságát is, a pontosabb modellezési folyamatok megvalósításához. Az eredmények alapján a hidrológiai modellezés jelentős potenciált rejt a mezőgazdasági vízgazdálkodási beavatkozások optimalizációjában és alapvető eszköz lehet a környezeti kihívásokra adott válaszok kidolgozásában.

Kulcsszavak

Integrált hidrológiai modellezés, MIKE Hydro River, MIKE SHE, TIKEVIR, adatgyűjtés és -elemzés.

Integrated water management reflecting natural and social processes in the area of the Tisza-Körös Valley Cooperative Water Management System

Abstract

In this study, we carried out the preparation of input data for the MIKE Hydro River and MIKE SHE hydrological modelling software concerning the Tisza-Körös Valley Cooperative Water Management System (TIKEVIR) area, from the perspective of planned agricultural water management IT developments in the region. We detail these models' input data requirements and associated modelling processes, highlighting the importance of geospatial data and hydrological data from measurement stations, as well as data integration and conversion solutions. Throughout the study, we analyse the computational efficiency of model application, calibration processes, and the possibilities of integrating modelling results into sustainable water management practices, specifically for the TIKEVIR area. The relevance of the topic is underscored by the fact that, in the half-century since the establishment of the TIKEVIR system, it must meet numerous new challenges related to water management, necessitating a review of existing operational practices. These novel challenges include climate adaptation, urbanization and industrial processes, the increased water demand due to agricultural water management, and the need for innovative water governance and storage solutions and alternative water resource utilization methods. The publication makes suggestions for improving the professional preparedness of decision-makers, integration into decision support systems, risk analysis, data collection, and analysis. These measures can contribute to increasing the production efficiency of agricultural water management in the TIKEVIR area, optimizing water management strategies, and facilitating the broader application of sustainable agricultural practices. The study emphasizes the importance of continuous hydroinformatics development for more accurate modelling processes. According to the results, hydrological modelling holds significant potential for optimizing agricultural water management interventions and can be a fundamental tool in developing responses to environmental challenges.

Keywords

Integrated hydrological modelling, MIKE Hydro River, MIKE SHE, TIKEVIR, data collection and analysis.

BEVEZETÉS

A klímaváltozás negatív hatása a szélsőséges vízháztartási folyamatokban kétségtelenül megnyilvánul (*Bartholy és társai 2008, Fehér és Rakonczai 2019*). Az aszályok és a

belvizek gyakoriságában és intenzitásában növekedés figyelhető meg, ami a Kárpát-medence alacsonyan fekvő területeire vonatkoztatva a környezeti, természeti, illetve mezőgazdasági adottságainak nagymértékű romlását, az

éves hozamok bizonytalanságát eredményezi (*Mezősi és társai 2017*). Az intenzív csapadékos időszakokban nagy területeket sújt a belvív, amely súlyos termés kiesést eredményez, továbbá lényeges kihívást nyújt a települési vízgazdálkodás területén (*Bozán és Tamás 2008*). Ezzel ellentétben, a csapadékban szegény aszályos évek is, különösen a 2022-es szárazság megsemmisítő erővel hatott a hazai mezőgazdaságra. A közvélekedéssel ellentétben ugyanakkor a 2009-2012 közötti extrém aszályos és csapadékos évek vizsgálata rámutatott, hogy a belvív tájból történő gyors elvezetésének negatív hatásai a hosszantartó aszályos időszakokban csúcsosodik ki, amikor minden csepp víz hozzájárul a mezőgazdasági hozamok biztosításához (*Rakonczi és társai 2023*).

Az éghajlatváltozás következtében a fokozódó csapadékdeficit a térséget izoláltan kiemelkedő, ezáltal a környező vízfolyásokból nem táplálkozó Nyírséget az egyik legveszélyeztetettebb régióvá tette. A Nyírség nyugati előterén elterülő Debrecen térségét, valamint a Hajdúság-Hortobágy régiókat regréviz és a felszínközeli víztestjeit az 1990-es évek óta veszélyezteti a vízhiány (*Marton és Szanyi 1997a, b*). A térség urbanizációs és iparosodási folyamatai a közelmúltban felgyorsultak, ezáltal folyamatosan nő az agrárium, a lakosság és az ipar vízigénye. Ezzel átalakulnak a lefolyási, beszívargási, párolgási viszonyok, amely folyamatokat a szélsőséges időjárási és hidrológiai események (pl. villámárvizek, belvizek és városi hőhullámok) hatásai is felerősítik. Komplex megközelítésre és alapvető paradigmaváltásra van tehát szükség ahhoz, hogy a megváltozó körülmények által támasztott új igényeket mind térben, mind időben a legnagyobb hatékonysággal képesek legyünk kielégíteni.

A vízhiány hatására a dél-nyírségi, hajdúsági területeken nem végezhető nagymértékű, fenntartható vízkivétel a felszín alatti vizekből. Az utóbbi években indult, a térséget érintő nagyléptékű iparosodás, illetve a prognosztizálható népességnövekedés ugyanakkor megköveteli a növekvő vízigények biztosítását. Mezőgazdasági aspektusból lényeges a talajvíztükör mélysége, mely jellemzően 4-8 méterre húzódik, de kisebb foltokban sekélyen, akár 1 m-nél is sekélyebben okozhat szikesedést (Hortobágy), míg máshol nagyobb kiterjedésű foltokban a növényzet számára szinte elérhetetlen (*Fehér 2015*).

A térség számára az egyetlen számba vehető megújuló vízkészletet a Tisza szolgáltatja. A meglévő öntözőcsatorna-rendszer bővítésével és további, magasabb fekvésű öntözőtározók létesítésével (*VGT3 2021*), ezáltal a folyó vizével történő integrált vízgazdálkodás legújabb megvalósulása a Tisza-Öntözőrendszer (TÖR) kiterjesztéseként megvalósuló CIVAQUA projekt foglalkozik. A kezdeményezés keretében megépülő 15 km vízkormányzási infrastruktúrától a szakemberek a térség vízproblémáinak hosszú távú megoldását remélik.

A Tisza folyó 100-120 m³/s kisvízi vízhozamából 24-26 m³/s a Keleti-főcsatornába, 26-30 m³/s a Nagykunsági-főcsatornába, 1-3 m³/s a Tiszafüredi-főcsatornába és 2-4 m³/s a Jászsági-főcsatornába kerül. Elmondható, hogy összesen kb. 53-63 m³/s vízhozamból történhet vízkivétel (*Vizi 2020*). A víztározás és a vízkormányzás szempontjait

a főbb vízkivételek időbeli és térbeli optimalizálásával tudjuk meghatározni, figyelembe véve a mederből történő közvetlen vízkivételeket. A főbb vízkivételi pontok: a Tisza-Öntözővízlevezető, a Kiskörei Vízerőmű, a Szolnoki felszíni vízkivételi mű. Ezek mellett a vízszétosztó csatornákon, főleg a Keleti-, Nyugati-, Nagykunsági-, Jászsági főcsatornákon keletkező vízkivételeket kell figyelemmel kíséreni.

Mindazonáltal, az egyre gyakoribb és egyre hosszabbban elnyúló aszályok során, a Tisza vízhozama jelentősen lecsökken (LKQ Tiszabecs 14 m³/s), ami veszélyezteti a térség biztonságos vízellátását és a már kiépült, illetve kiépítendő vízkormányzási rendszereket. Indokolt tehát a felhasználható vízkészlet időszakos, vagy folyamatos növelése. A lehetőséget és különböző megoldási alternatívákat a 2023-ban, a Debreceni Egyetemen megrendezett „*Trendek és kihívások a területi vízgazdálkodásban*” tudományos szakmai konferencia ajánlásai foglalták össze, amelyet a Hidrológiai Közlöny is közölt (*Tamás és Nagy 2023*). A jövőbeni modellezési célfeladatok közül az ajánlások alapján különösen fontos azt hangsúlyozni, hogy az új természetközeli, vízmegtartásra épülő vízgazdálkodás megvalósításához a vízügyi szervezeteken túl a felhasználóknak is hozzá kell járulniuk víztakarékos technológiák alkalmazásával, illetve a vízvisszatartásban történő aktív közreműködéssel. Szintén kiemelhető a Keleti főcsatornán a CIVAQUA projekt és az ipari vízfelhasználás hatásának jövőbeli értékelése.

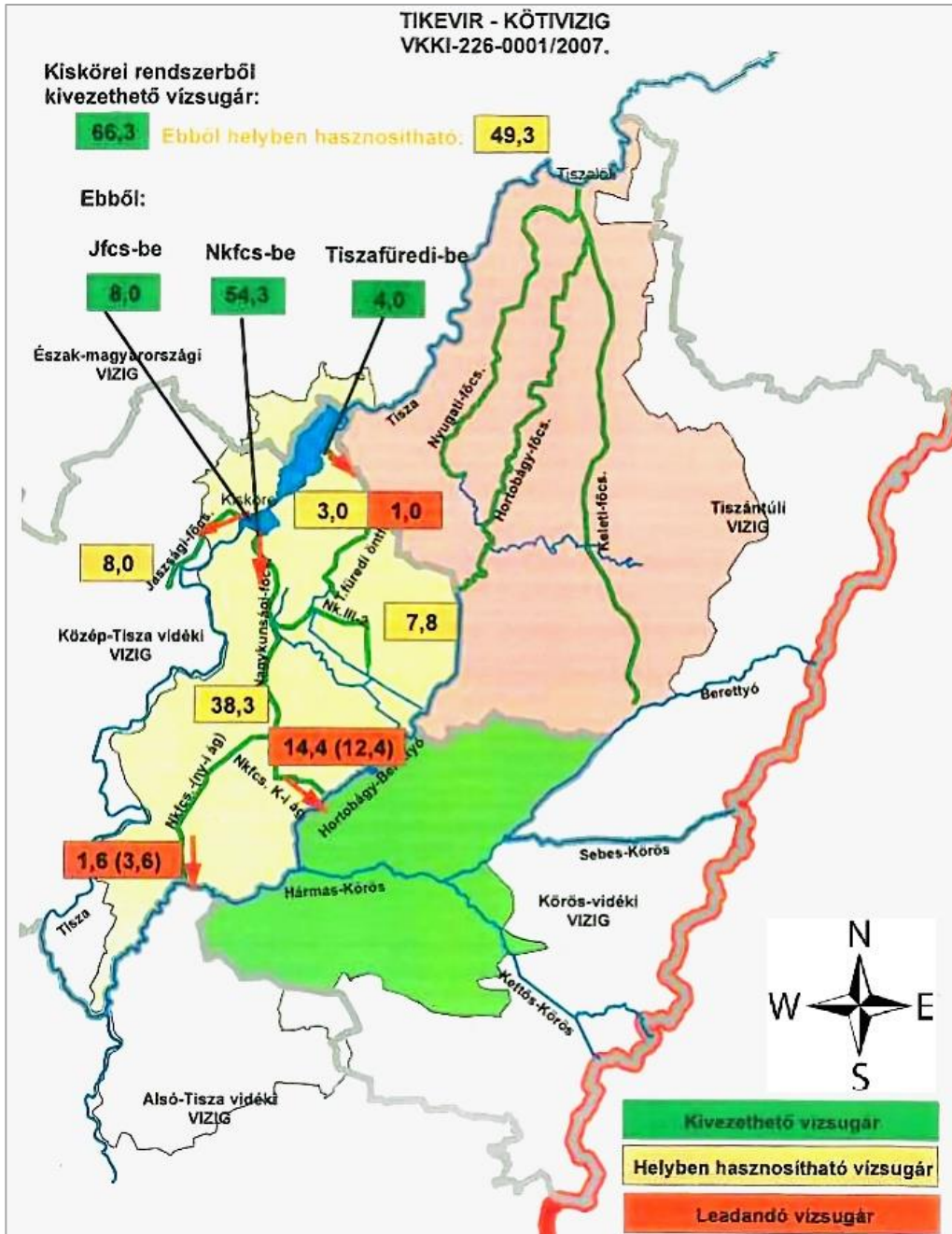
A MINTATERÜLET

A Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) egy innovatív, fenntartható vízgazdálkodásra törekvő multidiszciplináris megközelítés. Ez az együttműködésre épülő megközelítés lehetővé teszi a különböző érdekelt felek, mint például a helyi önkormányzatok, vízügyi hatóságok, vízügyi igazgatóságok, mezőgazdasági termelők és természetvédelmi szervezetek számára, hogy közösen dolgozzanak a vízgazdálkodási kihívások megoldásán. A kezdeményezés operatív területe a Tisza és a Körös folyók völgye (*I. ábra*). Az integrált megközelítés eredményeként elősegíthető a gazdasági fejlődés támogatása és a természeti értékek védelme, valamint a régió fenntartható vízgazdálkodása. A TIKEVIR a vízhasználat és gazdálkodás számos aspektusát ötvözi, a vízminőség, az árvízvédelem, a mezőgazdasági öntözés és a biodiverzitás megőrzésének tekintetében. A rendszer a legmodernebb technológiákat és adatkezelési módszereket alkalmazza, beleértve a távérzékelés és a geoinformatikai rendszerek megoldásait, amelyek segítségével a vízgazdálkodási folyamatok pontosabban értelmezhetők és lehetővé teszik a vízkészlet-változások precízebb előrejelzését, a vízkészletek optimálisabb szétosztását.

A meglévő TIKEVIR rendszer fő gerincét a Keleti-, a Nyugati-, a Jászsági- és a Nagykunsági főcsatorna alkotja. A főcsatornák a kisebb csatornákkal együtt az Alföld területén képeznek hálózatot és biztosítják a régió vízellátását. Az említett hálózat nélkül a Körös-völgy és a Tisza-völgyének nagy része kiszáradna a csapadék-szegény nyári hónapokban. E rendszer célja, hogy a térségben a vízhiányos térségek elsősorban a Kö-

rős-völgy vízkészletét pótolja, a térségben nem ritkán jelentkező belvizet a környező vízfolyásokba juttassa, végső soron az Alföldre jellemző hidrometeorológiai szélsőségek hatását az összehangolt vízkormányzás ré-

vén csökkentse. A TIKEVIR elsősorban az ökoszisztéma vízellátására, öntözésre, halastavak táplálására és a felesleges víz elvezetésére szolgál (*Virágné Kőházi-Kiss és Fejes 2016*).



1. ábra. TIKEVIR vízkormányzási rendszere (Virágné Kőházi-Kiss 2017)
Figure 1. TIKEVIR water management system (Virágné Kőházi-Kiss 2017)

A TIKEVIR összesen 10, az alföldi nagytájhoz tartozó Közép-Tisza vidéki középtájon lévő földrajzi kistájat érint (1. táblázat). Ezek mindegyikén jelentős környezeti kockázati tényezőt jelent az aszály, az alacsonyabb, egykori árterek agyagos talajain a belvíz, a magasabb fekvésűeken a szélerezózió, a folyók mentén pedig az árvíz. A vízfelületek aránya a Hajdúhát, és a Lőszös-Nyírség, mint beszivárgási zóna, a Debrecen-Ligetlaja kistáj pedig a városi vízkitermelés hatására kialakult depresszió miatt alacsony. A jelentősebb kiterjedésű nyílt vízfelületeken

elsősorban halászati célú hasznosítás folyik a Hortobágy, Szoboszlói-Hajdúság, Nagy-Sárrét, Berettyó-Kálló köze, Bihari-sík, Mezőtúr-Karcagi-sík, Kunhegyes-Tiszafüredi-sík kistájakon.

Kutatásunk szűkebb középpontjában a tengerszint feletti 93-162 méter magasságban elhelyezkedő Hajdúhát kistáj (2. ábra) áll. A Hajdúhát kiemelkedik környezetéből, így természetes felszínközeli vízutánpótlása nem biztosított, a mezőgazdasági vízigényt a Keleti, illetve Nyugati főcsatorna vízkészlete adja (Rónai 1975). A terület a

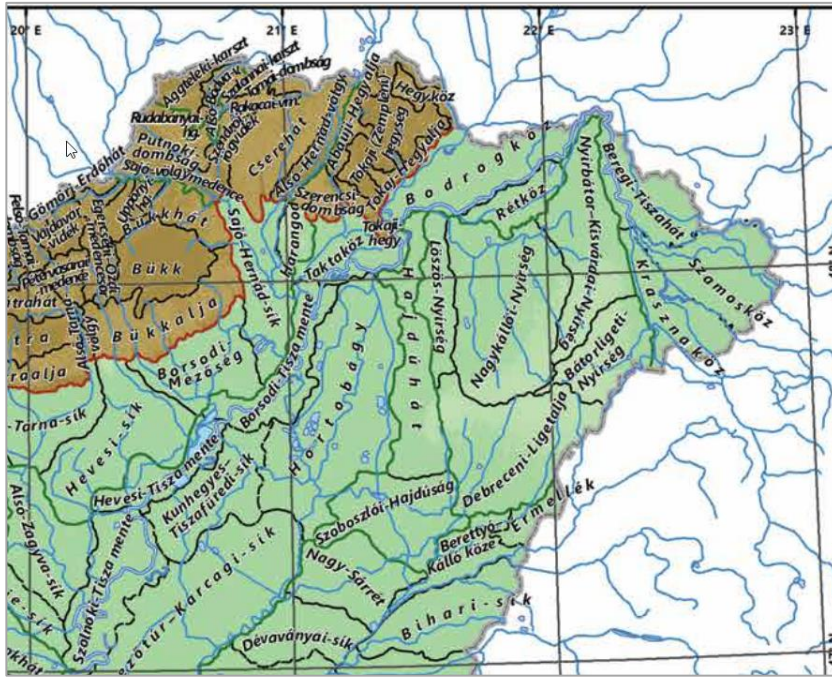
pleisztocén földtörténeti kor végén és a holocén elején alakult ki, litológiaiailag kvarter felső-pleisztocén lösz, löszös homok, infúziós lösz és folyóvízi aleurit, valamint holocén deluviális aleurit fedí (Csorba 2021). A Hajdúhát jelentős részben fedő homokoslösz-, illetve lösztakaró vastagsága helyenként eléri a 4 métert.

A hordalékkúp síkság üledékein képződött talajok jó termékenységűek (Rónai 1985). A kistáj fő talajtípusa az

alföldi mészlepedékes csernozjom, emellett megjelenik a területen a réti csernozjom és a mélyben szolonyeces réti csernozjom talajtípus. A csernozjomtalajok jó vízgazdálkodású talajok, de a foltszerűen megjelenő homokos jellegű talajjal fedett részek a rossz és a közepes vízgazdálkodású kategóriákba esnek (Rónai 1963). Ez a mozaikosság kihívást jelent a növénytermesztés számára.

1. táblázat. A TIKEVIR területén fekvő kistajak természeti adottságai (Csorba 2021 nyomán)
Table 1. Natural features of the small landscapes in the TIKEVIR area (after Csorba 2021)

Tájegység	Terület (km ²)	Mezőgazdaság jellemzői	Vízgazdálkodás jellemzői	Topográfia és domborzat jellemzői	Éghajlat	Földhasználat	Kockázati tényezők			
							Szél-erő-zió	Bel-víz	Aszály	Árvíz
Hortobágy	1796	Gyep és szántóföld dominál, 47% és 39% arányban.	Nyílt vízfelszínnek, mocsarak, halastavak (9% területen)	Alacsony síkság, réti szolonyec talajú ártér, hordalékkúpok	Meleg és száraz	Gyep és szántóföld, mikromorfológiai változatosság		X	X	
Hajdúhát	741	Főként szántóföldi gazdálkodás (84% területen), csökkenő tendenciával.	Alacsony vízfelszín arány, horgásztavak.	Enyhén hullámos síkság	Meleg és száraz	Szántóföld, kevés erdő, mészlepedékes talaj	X	X	X	
Löszös-Nyírség	374	Mezőgazdasági területek dominálnak (85% területen).	Alacsony vízfelszín arány, Hosszú-háti-tó.	Enyhén hullámos síkság	Mérsékelt meleg és száraz	Szántóföld, enyhén közepes veszélyeztetettség	X		X	
Debreceni-Ligetelja	1205	Szántóföld és erdők, buckaközi mélyedések.	Kiemelkedő vízfelszínnek, horgásztavak.	Hullámos síkság, buckaközi mélyedések	Mérsékelt meleg és száraz	Erdők, szántóföldek, buckaközi mélyedések	X		X	
Szoboszlói-Hajdúság	774	Főként szántóföld (77% területen), növekvő beépített területek (6,5%).	Nyílt vízfelszínnek és mocsarak, szél-erő-zió veszély.	Enyhén hullámos síkság	Meleg és száraz	Szántóföld, kevés erdő, löszös talajok		X	X	
Nagy-Sárrét	613	Szántóföld, kevés erdő, szikes talajok.	Kiemelkedő vízfelszínnek, tavak, árvíz- és belvízveszély.	Alacsony síkság, földszülyedés	Meleg és száraz	Szántóföld, kevés erdő, szikes talajok	X	X	X	
Berettyó-Kállóköze	374	Szántóföld, gyep, árvíz- és belvízveszély.	Kiemelkedő vízfelszínnek, halastavak, árvíz- és belvízveszély.	Ártéri síkság, alacsony ármentes területek	Meleg és száraz	Szántóföld, gyep, árvízveszély, belvíz, aszály	X	X	X	X
Bihari-sík	704	Főként szántóföldi gazdálkodás (63% területen), csökkenő tendenciával.	Alacsony vízfelszín arány, homokbuckák.	Ártéri sík és ármentes sík	Meleg és száraz	Szántóföld, gyep, erdők, homokbuckák	X	X	X	X
Mezőtúr-Karcagi-sík	788	Szántóföld és gyep dominál (81% és 9% arányban).	Nyílt vízfelszínnek és mesterséges tavak, belvíz- és aszályveszély.	Ármentes sík és homokbuckás ármentes területek	Meleg és száraz	Szántóföld, gyep, homoktalajok, árvíz- és aszály	X	X	X	X
Kunhegyes-Tiszafüredi-sík	685	Szántóföld és gyep (66% és 17% arányban).	Nyílt vízfelszínnek és mesterséges tavak, árvíz- és aszályveszély.	Ármentes sík és homokbuckás ármentes területek	Meleg és száraz	Szántóföld, gyep, homoktalajok, árvíz- és aszály	X	X	X	X



2. ábra. A TIKEVIR területén található kistáják elhelyezkedése (Csorba 2021 nyomán)
Figure 2. Location of the TIKEVIR's small areas (after Csorba 2021)

AZ INTEGRÁLT HIDROLÓGIAI MODELLALKOTÁS KONCEPCIÓJA

A hidrológiai kutatások egyik fontos célja (3. ábra) a vízgyűjtőkben működő vízháztartást és vízmozgást szabályozó fizikai folyamatok, valamint a vízmennyiségre és -minőségre gyakorolt hatások megértése a vízgyűjtőt érintő környezeti hatástanulmányok és döntéshozatali mechanizmusok számára (Mungai és társai 2004). Az infokommunikáció térnyerése és a távmérő állomások elterjedésének köszönhetően a valós idejű adatokkal feltöltött hidrológiai modellek a vízgazdálkodás hatékony eszközei. A vízkészletekkel történő gazdálkodás döntéshozatali folyamatában, az árvízi előrejelzésben, a hidrológiai előrejelzések elkészítésében és ezáltal a katasztrófák elkerülésében és a károk enyhítésében fontos szerepet töltenek be (Irimuş és társai 2015).

A mért környezeti paraméterek felhasználásával különféle környezeti modelleket építhetünk. Bár az antropogén és természetközeli hidrológiai folyamatok nem definiálhatók egzakt módon, a különféle modellekkel mégis valamilyen jövőbelátás a célunk. A modellek segítenek megérteni a végbemenő környezeti folyamatokat. Különböző modellparaméterek megváltoztatásával jövőbeli események környezeti, illetve társadalmi-gazdasági hatásait is képesek vagyunk szimulálni (IPCC 2023). A modell megbízhatósága ugyanakkor nagymértékben függ a megválasztott modelltől, a bemenő adatok mennyiségétől, minőségétől, illetve a modell kalibrációtól és validációtól (Leandro és társai 2009, Fehér 2015).

A hidrológiai modellek matematikai ábrázolásai a vízkörforgásnak és a kapcsolódó folyamatoknak, amelyek a természetes és épített környezetben zajlanak. Az integrált hidrológiai modellek döntő szerepet játszanak a vízkészletek megismerésében, előrejelzésében és kezelésében, biztosítva azok fenntartható és hatékony felhasználását. A hidrológiai modelleket számos módon csoportosíthatjuk,

ahol a fő értékelési szempontok: a modellek alkalmazási célja, a modellezett rendszerek típusa a figyelembe vett hidrológiai folyamatok, az alkalmazott határfeltételek, a folyamatok összetettsége alapján, valamint az alkalmazott térbeli és időbeli lépték figyelembevételével (Somlyódy 2011, van den Bout és Jetten 2020, McManamay 2022).

Valójában a tájhasználattal és az éghajlatváltozással kapcsolatos vízgazdálkodási döntések bizonytalansága éppen a környezeti folyamatok és kapcsolatrendszerek tökéletlen megfigyeléseinek köszönhetőek. E tekintetben a hatékony vízkészlet-gazdálkodáshoz megbízható információk szükségesek a hidrológiai ciklus valamennyi komponenséről. Ezért a hatékony és fenntartható fejlődés érdekében a vízgyűjtő léptékű gazdálkodás erősen ajánlott. Jelen tanulmányban a Közép-Tiszántúl térségére egy vízgyűjtő léptékű, integrált, felszíni és felszín alatti hidrodinamikai kapcsolt modell folyamatban lévő fejlesztését mutatjuk be. A megoldás teljesen elosztott és fizikai alapú modell, a MIKE SHE és a MIKE Hydro River modellezőrendszer segítségével. Az elosztott hidrológiai kapcsolt modellt a vizsgált térség teljes vízmérlegének részletes értékelése és felügyelete érdekében fejlesztjük. Célunk információt szolgáltatni a modellezett vízgyűjtőn belül rendelkezésre álló vízkészletekről, vízigényekről a szűkösen rendelkezésre álló vízkészletek optimális elosztása érdekében.

A vízgyűjtők vízmérlegének részletes becslése információt nyújt a hidrológiai ciklus különböző összetevőinek alakulásáról. A vízgyűjtők hidrológia elméleti ábrázolása fizikai törvényeken alapul, különösen a tömegmegmaradás, Newton mozgástörvényei és a termodinamikai törvényekre építkeznek. A feltételezés szerint a vízgyűjtőbe belépő vízmennyiség megegyezik a vízgyűjtőből kilépő vízmennyiséggel és a vízgyűjtő nettó tárolt vízkészletével. Továbbá, a vízgyűjtők vízháztartása a különböző hidrológiai összetevők (csapadék, párolgás, intercepció, visszatartó tározás, felszíni és felszín alatti be-, illetve kiáramlás)

közötti függvénykapcsolat határozható meg. A különböző hidrológiai komponensek közötti modellkapcsolatoknak széles szakirodalma áll rendelkezésre (Tamás és társai 2002, Mensah és társai 2022, Stadnyk és Holmes 2023).

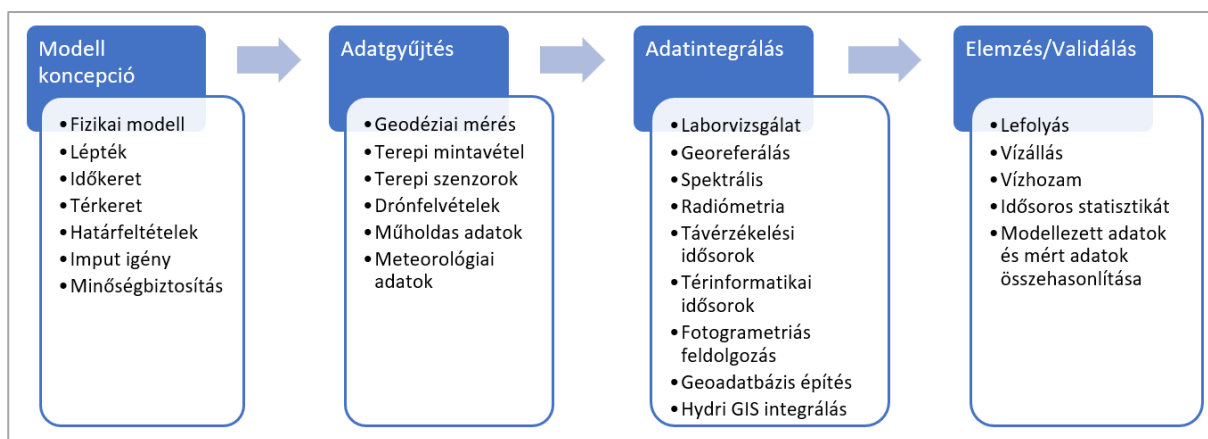
A determinisztikus hidrológiai modellek értékelése

Tamás és társai (2002) alapján a hidrológiai modellek az ok-okozati kapcsolatok feltárása során elsősorban determinisztikus megközelítést alkalmaznak, melynek célja a fizikai folyamatok valóságghú, dinamikus rekonstrukciójának biztosítása. E megközelítésben az egyes hatótényezők kölcsönös interakciójának realisztikus modellezése áll a középpontban, ami a determinisztikus modellek előnyben részesítését indokolja azokkal a modellekkel szemben, amelyek kevésbé pontosan, de rugalmasabban képezik le az adott jelenség fizikai összefüggéseit. A determinisztikus modellek, mint amilyen a MIKE SHE, a fizikailag összetettebb modellezési lehetőségeik révén hitelesebbnek tűnhetnek a viszonylag egyszerűbb modellekkel szemben, melyek kevesebb hatótényezőt vesznek figyelembe. Azonban, a modell összetettségével arányosan nő az adat-, paraméter- és számításiigényesség is, ami fokozza a mérési és kalibrációs hibák lehetőségét (Wani és társai 2019). Ezt különösen fontos figyelembe venni, amikor a csapadékeloszlás térben és időben történő kaotikus változékonyságát modellezzük (Kemény és társai 2013, Fehér 2015). Komplex hidrológiai folyamatok esetén, ahol a tér- és időbeli folyamatok komplexitását értékeljük, elengedhetetlen a hiba terjedési folyamatok (Carless és társai 2021) és az érzékenység vizsgálatok figyelembevétele a vizsgálati eredmények kiértékelése során (Kozma 2013, Tran 2023).

A modell bonyolultságával – ami arra utal, hogy részletes és nagy mennyiségű adatok beépítése történik a modellbe, így növelve az általa végzett számítások összetettségét és ezzel együtt a modell összességében vett bonyolultságát – arányosan nő a számítási idő is, tehát a több adat és részletesség beépítése jelentősen megnöveli azt az időt, amely a modell futtatásához szükséges. Ennek következtében csupán néhány alternatív modell futtatására nyílik lehetőség adott időkereten belül. Ekkor fennáll a

veszélye annak, hogy nem a „valóságghú alternatívát” fogadjuk el, vagyis azokat a modelleket, amelyek a leginkább megközelítik vagy tükrözik a valóságot, figyelmen kívül hagyva, amiatt, hogy korlátozott idő áll rendelkezésre a számításokra és a modellértékelésre (Bárdossy és társai 2000). A modell teljesítménye és alkalmazhatósága szorosan kapcsolódik a kiválasztott paraméterhalmazhoz, mivel ezek a paraméterek határozzák meg a modell konfigurációját és beállításait. A számítási igény növekedése miatt azonban korlátozott lehetőségek állnak rendelkezésre a paraméterek különböző kombinációinak vizsgálatára, ami befolyásolhatja a modell optimalizálásának és a valós viszonyokhoz való illeszkedésének mértékét (Caers 2011). Végül soron a modell bizonytalanságának meghatározása válik lehetetlenné, így pedig a modell kimenetele a valóságnak csupán „egy lehetséges alternatívájaként” értelmezhető. Popper (2002) szerint „a felállított modell semmiképpen se legyen összetettebb, mint amit a kívánt cél elérése érdekében ténylegesen szükséges figyelembe venni”. Minél bonyolultabb modellt alkalmazunk, annál több releváns információval kell rendelkezünk, illetve annál több modell paramétert kell megfelelően meghatározunk. Ha az egyszerűbb és a bonyolultabb modell eredményei közötti különbségek a modellek összes többi bizonytalansági tényezőjével szemben jelentéktelenek, akkor érdemes az egyszerűbb modellt előnyben részesíteni (Caers 2011, Rubin 2003).

A modellek másik nagy csoportja sztochasztikus megközelítés melyben a vizsgált hidrológiai változók tulajdonságaihoz valószínűségi értékeket rendelnek, pl. Fuzzy algebra, ARIMA modellek (Hipel 2010). A sztochasztikus modell alapfelvetése, hogy az egyes környezeti tényezők egymással determinisztikus kapcsolatot alkotnak. Ugyanakkor a lépték függvényében mindig előfordulnak olyan kiszámíthatatlan tényezők, amelyeket nem tudunk megfigyelni. Ezért csak általánosítani tudunk, azonban a megfigyelések ettől az általánosítástól többé-kevésbé eltérnek. Az eltérések mértéke határozza meg a különféle eredetű bizonytalanságokat, illetve valószínűségeket.



3. ábra. A hidrológiai modell építés folyamata
Figure 3. The hydrological model building process

2. táblázat. Adatforrások a TIKEVIR integrált hidrológiai modellezéséhez
Table 2. Data sources for TIKEVIR integrated hydrological modelling.

Adatforrások	Adatok	Adatformatum	Lépték
TIVIZIG	Vízrajzi adatok, Vízi mérőállomások adatai	.csv	1-3 napi, interpolált
Országos Meteorológiai Szolgálat	Hőmérséklet, Csapadék, Referencia ET	.csv	1 nap
Aszálymonitoring	Hőmérséklet, Csapadék, Referencia ET	.csv	1 óra
KITE	Hőmérséklet, Csapadék, Referencia ET	.csv	10 p
ESA – Sentinel 2	LAI, CORINE Land Cover 2018	.JP2, .shp	5 nap
TIVIZIG	Talajvízmérő kutak adatai	.csv	1-3 nap, interpolált
DTA-50	Domborzati modell	.GeoTIFF	1:50 000
MTA ATK TAKI	AGROTOPO	.shp	1:100 000

ADATMINŐSÉG

Az adatminőség szempontjából két alapvető koncepcionális tényezőt fontos figyelembe venni. Egyfelől a vízgyűjtő-modellezés során az egyes környezeti tényezők értelmezése minden esetben generalizált módon történik, ami lehetővé teszi a különböző skálájú jelenségek modellezését. Másfelől az operatív döntéshozatali rendszerek úgynevezett időkritikus rendszerek, ahol a környezeti modellek differenciálegyenleteinek numerikus megoldása szorosan összefügg a modell diszkretizálásának mértékével, azaz azzal, hogy a folyamatos jelenségeket milyen részletességgel és milyen diszkrét pontossággal közelítjük meg. Még a geodéziai eszközökkel, milliméter pontossággal felmért tényezők esetében is a modell diszkretizálása határozza meg a felhasznált adatok részletességét és ezáltal a modell általánosítási képességét. Másik oldalról egy vízgyűjtő felszín alatti hidrológiai folyamatainak mérnöki pontosságú leképezése tökéletesen szükségtelen, amennyiben a modell célja a regionális vízkészlet-szétosztás optimalizálása.

Érdeemes megjegyezni, hogy jogrendszerünk sem képes kezelni azt a paradoxont, mely szerint észszerű körülmények között a rendelkezésre álló eszközökkel nem vagyunk képesek a környezeti hatótényezők determinisztikus összefüggéseinek tökéletes meghatározására. Ezt a kihívást a hidrológiai kutatásokban gyakran a különböző módszerek eredményeinek összehasonlításával és korábban közölt kutatási eredményekkel való összevetésével kezelik, ami lehetővé teszi a bizonytalanságok mértékének csökkentését és a döntéshozók számára releváns, megbízhatóbb információk szolgáltatását. A kutatási jelentésekben azonban továbbra is kihívást jelent a módszertani bizonytalanságok kommunikálása úgy, hogy az ne hártsa át a felelősséget a döntéshozókra. Mindazonáltal, üzleti szempontból előnyös lehet a hangsúlyozás, hogy a kínált megoldás „tökéletesebb” eredményt nyújt, mint amit a konkurencia kínál, miközben figyelembe vesszük és kommunikáljuk a kutatási módszertan inherens korlátait és a bizonytalanságok kezelésére tett lépéseket.

Amennyiben lokális vízkészletek optimális szétosztásáról beszélünk egy homogén mezőgazdasági kultúrán, a megfigyelni kívánt folyamatok körét lényegesen lecsökkentjük, ezáltal bizonyos, regionális szempontból trendszerű folyamatok (pl. hőmérséklet) konstanssá válnak. A regionális léptékben kiátlagolva jelentkező, egyébként jelentős területi vagy időbeli heterogenitást mutató környezeti hatásokról (pl. gyökérszóna vagy levélfelületi index időbeli alakulása) az arányaiban megnövekedő (fiskális,

technikai, időbeli) megfigyelési kapacitásainknak köszönhetően részletesebb képet alkothatunk. Mindazonáltal a megnövekedett információmennyiség feldolgozásához szükséges számítási kapacitások is lényegesen megnövekednek, következésképpen a modellezni kívánt terület méretének növekedésével elérhetünk egy olyan kritikus méretet, melyen túlmenően a modell futásideje meghaladja a hatékony beavatkozás elvégzéséhez szükséges időkeretet.

RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ MODELLEK ÁTTEKINTÉSE, ÉRTÉKELÉSE

Az elmúlt négy évtizedben hidrológiai rendszerek értelmezése és hipotézisvizsgálatok végrehajtása érdekében vízgyűjtő-modellek sokaságát (AnnAGNPS, ANSWER-2000, CREAMS, EPIC, HEC-1, HSPF, SWAT, HEC-HMS) fejlesztették (Arnold és társai 1993, Singh 1995, Parsons és társai 2004). A fenti modellek hatékonysága a részletes vízmérleg-számítás során ugyanakkor a ma rendelkezésre álló hatalmas adatmennyiséghez képest már nem felel meg (Brun és Band 2000, Albek és társai 2004, Bosch és társai 2004, Gassman és társai 2007). Az AnnAGNPS a felszíni lefolyás modellezését gyengén kezeli (Yuan és társai 2002, Suttles és társai 2003), az alapvízhozamot nem képes meghatározni, illetve a csapadék eloszlásának térbeli mintázatait sem kezeli. Következésképpen nem alkalmas a be- és kiáramló vízmérleg számítására. Az ANSWER-2000 nem tudja meghatározni az alapvízhozamhoz szükséges felszín alatti áramlásokat, vagyis térségünkben a talajvíz sokéves alakulását (Connolly és társai 1997). A CREAM modellben nem tudjuk meghatározni az alapvízhozamot. Továbbá a modell homogén talajtani viszonyok között, egy kiválasztott növényfajra és gazdálkodási gyakorlatra, valamint a vízgyűjtőn belül térben homogén hidrometeorológiai tényezőkkel számol. Így integrált vízgazdálkodási megfontolásból nem használható a térség egységes antropogén és környezeti megfontolású hidrodinamikai modellezésére (Knisel és Williams 1995). Az EPIC modell sem képes szimulálni az alapvízhozamot, továbbá az időjárás, a talaj és a gazdálkodási tényezőket homogénnek tekinti a területen (Williams 1995). A HEC-1 modellben mind a kezdeti csapadékvesztés, mind az állandó veszteségráta olyan egyszerűsítések, amelyeknek a vihar jellemzőivel kell változniuk, és így nem fizikai alapú paraméterek. A HEC-1 hátránya továbbá, hogy a mederáramlást és a medertölcsördulást dinamikus hullámmódel helyett egydimenziós (1D) Muskingum-Cunge módellel szimulálja, ezáltal a gyorsulási feltételeket figyelmen kívül hagyja (Merkel 2002). A HSPF módel egy részben osztott, részben fizikai alapú módel, amely fizikai

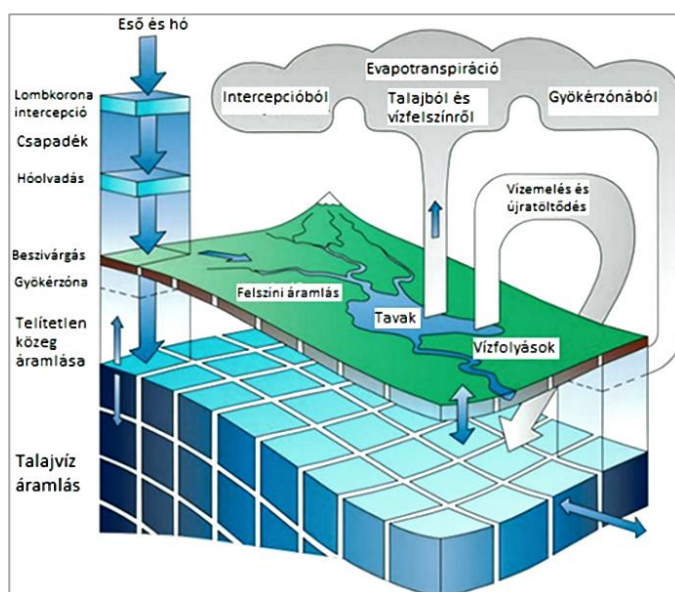
és empirikus egyenletek alapján számítja a vízáramlást, továbbá a vízgyűjtő jellemzőit és az éghajlati paramétereket területileg homogénnek tekinti (*Brun és Band 2000*). A SWAT modell is hasonló problémákkal jellemezhető, mint a fent ismertetett modellek: egy félig elosztott modell, amelyben a szimuláció homogén éghajlattal, talajjal, földtakaróval és gazdálkodási gyakorlattal jellemezhető részvízgyűjtőkön történik. A szakirodalmi források alapján a MIKE SHE számos megközelítést kínál a víz mozgásának egyidőben leírására, beleértve a felszíni áramlásokat, a folyók és tavak áramlását, a telítetlen és telített áramlásokat és az evapotranspirációt (*Tran, 2023*), illetve integráltan képezi le a felszíni- és felszín alatti víztestek közötti kapcsolatokat (*Sun és társai 2006*). A MIKE SHE nagyobb hatékonysággal képes prognosztizálni a folyók vízhozamának általános változását, mint a SWAT (*El-Nasr és társai 2005; Ndomba és Birhanu 2008*). A MIKE SHE, mint integrált hidrológiai modell, hátrányai közé tartozik, hogy számos bemeneti adatra van szüksége, ami jelentős mennyiségű adatgyűjtést és előkészítést igényel, növelve ezzel a modellezési folyamat bonyolultságát és időigényét. Ezenkívül a telítetlen áramlás modellezésének korlátozottsága csupán a függőleges, egydimenziós szimulációra – bár elegendő lehet bizonyos szituációkban, mint például mélyebb talajrétegek vízmozgásának vizsgálatakor – korlátozza a modell alkalmazhatóságát olyan esetekben, ahol a víz horizontális áramlása vagy a telítetlen és telített zónák közötti komplex interakciók is fontos szerepet játszanak. A DHI szoftvercsalád korai hazai alkalmazására a Tisa Catchment Area Development Spatial Decision Support System (*TICAD SDSS 2012*) projekt keretében került sor. A Tisza-völgyi árvizek hidrológiai, hidrodinamikai és gazdasági modellezésére, valamint a levonuló árhullámok előrejelzésére, beleértve a Tisza-völgyi árapasztó tározók optimális működtetését is, egy komplex hidrodinamikai modellrendszer kialakítása szükséges. E célból az Országos Műszaki Irányító Törzs (OMIT) 2020-ban létrehozta a Tisza-völgyi Árvízvédelmi Elemző Központot (TÁREK),

amely nem csak egy szakcsoport, hanem egy integrált modellrendszer, beleértve hidrológiai, hidrodinamikai és kár-számítási modulokat, amely a Tisza teljes vízgyűjtőjére kiterjed. A TÁREK munkáját a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszerhez (TIKEVIR) kapcsolódó modellezési eredmények is segítik, remélhetőleg előmozdítva a térség árvízvédelmi és vízgazdálkodási hatékonyságát.

INTEGRÁLT HIDROLÓGIAI MODELLEZÉS MIKE SHE KÖRNYEZETBEN

A hagyományos és generalizált vízgyűjtő modellek a vízkörforgás teljes komponenshalmazát nem képesek hatékonyan ábrázolni. Mindazonáltal nemzetközi és hazai kutatásokra támaszkodva a MIKE SHE modellezési rendszer hatékonyan alkalmazható különféle léptékű vízgyűjtők vízgazdálkodásának integrált irányítására (*Jayatilaka és társai 1998, Singh és társai 1999, Illangasekare 2001, Thompson és társai 2004, Nazrul és társai 2006, Sahoo és társai 2006, Stisen és társai 2008, DHI 2014, Tran 2023*).

Más vízgyűjtőmodellektől eltérően a MIKE SHE modell a hidrológiai ciklust a felszíni, valamint a két- és háromfázisú zóna együttes integrált szimulációjával írja le (*4. ábra*). A MIKE Hydro River hidrodinamikai modell segítségével az egydimenziós kereteken belül elemezhetjük a medrek hidrodinamikai viszonyait, nyomon követhetjük a medertározást és a vízállás változások hatásait, bár ez a megközelítés korlátokat jelent a hidrodinamikai viszonyok teljes körű részletességében való ábrázolására. A MIKE SHE-vel a felszín alatti és felszíni víz között fellépő kölcsönhatások determinisztikus módon képezhetők. A modell alkalmas az eltérő vízháztartási helyzetek szimulációjának eredményeinek kidolgozására, hozzájárulva a hatékonyabb területi vízgazdálkodási stratégiák kidolgozásához (*van Leeuwen és társai 2016, Nagy és társai 2019, Tran és társai 2022*).



4. ábra. Konceptcionális hidrológiai folyamat (DHI 2014, saját fordítás)
Figure 4. Conceptual hydrological process (DHI 2014, own translation)

A MIKE SHE modell a hidrológiai folyamatokat az energia- vagy impulzusmegmaradás törvényei alapján írja le. A vízgyűjtők fizikai paramétereit, az éghajlati változókat és a hidrológiai tényezőket ortogonális rácshálón modellezi (Refsgaard és társai 2010). Az áramlásokat háromfázisú zóna esetében háromdimenzióban, a vadózus zónában vertikálisan kezeli, míg a felszíni lefolyást kétdimenzióban modellezi, amely magában foglalja a víz felszíni elterjedését és interakcióját a folyókkal. A folyókkal való kapcsolatot kifejezetten laterálisan, azaz oldalirányban kezeli, figyelembe véve a víz folyók és a szomszédos területek közötti mozgását (DHI 2023a, 2023b). Más vízgyűjtőmodellekkel szemben a MIKE SHE modell egyidejűleg és integrált módon szimulálja a hidrológiai ciklus minden folyamatát, mint a csapadék, lefolyás, beszivárgás és párolgás. Emellett képes a különböző vízáramlási komponensek, mint a felszíni lefolyás és a talajvíz mozgásának interakcióit is modellezni, biztosítva ezzel a felszíni és a talaj alatti vízáramlás közötti kapcsolatok átfogó ábrázolását. Bár a hóolvadás dinamikus beépítésére is lehetőség van, de az elmúlt 20 év adatai alapján ennek vízhozartási szempontból elhanyagolható a jelentősége a vizsgált térségben. A felszíni lefolyás meghatározásához a Soil Conservation Service görbe szám (SCS-CN) megközelítés helyett a MIKE SHE modell a Saint Venant-egyenletek egy egyszerűsített, diffúziós megközelítését alkalmazza, ami elkerüli a visszaduzzasztás részletes modellezésének szükségességét.

A MIKE Hydro River egy hidrodinamikai modell, amely kulcsfontosságú eszköz a vízhálózatok definiálásában. Ez a modell egy modulként funkcionál az integrált MIKE SHE modellrendszeren belül, támogatva a vízkörforgás és a vízgazdálkodási folyamatok szimulációját. A MIKE Hydro River szimulációi különösen hasznosak lehetnek a vízgazdálkodási infrastruktúra optimalizálásában, lehetővé téve a döntéshozók számára, hogy hatékonyabban kezeljék a vízerőforrásokat és javítsák a vízrendszerek működését (Chen és Liu 2017). A MIKE SHE hidrológiai rendszer modulja és a MIKE Hydro River modell összekapcsolásával lehetővé válik a felszíni és felszín alatti vízmozgások, valamint a folyómedrek áramlásának integrált szimulációja. Ez az integráció kiterjed a hidrológiai ciklus teljes körű elemzésére, beleértve a víz felszíni lefolyását, a talajvíz mozgását, és a folyók hidrodinamikáját (Yan és Zhang 2005). A MIKE Hydro River modell natívan beimportálható a MIKE SHE modellbe (DHI 2023a).

A modell moduláris felépítésének köszönhetően az egyes komponensek között dinamikus adatcsere, illetve az egyes hidrodinamikai alkomponensek önálló, szofisztikáltabb fejlesztése érhető el (DHI 2004). Ennek a fejlesztési koncepciónak köszönhetően egy felépített regionális modell összekapcsolható különféle, nagyobb felbontású (így nagyobb adat- és számításigényű) részmodellekkel. Ilyen részmodell a MIKE Urban, mellyel települések antropogén vízhálózatát, illetve záportározók, villámárvizek hatásait modellezhetjük. A szakirodalomban a MIKE+ szoftvercsalád implementációs területeibe beletartoznak a felszíni hidrológiai (Zölch és társai 2017), a felszín alatti hidrológiai (Lévesque és társai 2023) és a különböző speciális vízhasználati célok (He és társai 2019), így a városi hidro-

lógiai vizsgálatok térbeli és időbeli értékelése (Haghig-hatafshar és társai 2018). Másik előnye az ilyen típusú modellkoncepciónak, hogy egy nagy kiterjedésű regionális hidrodinamikai modellen belül egy-egy mezőgazdasági, erdészeti, természeti vagy árvízvédelmi szempontból kifinomultabb modellezésre kijelölt területre almodelleket dolgozhatunk ki. Az integrált megközelítésnek köszönhetően a modell – mint időkritikus rendszer – számításigénye lényegesen csökken, nagyobb mozgásteret biztosítva ezáltal a döntéshozatali hatóságok számára.

A MIKE SHE modell rugalmassága abban rejlik, hogy képes ötvözni a koncepcionális és a fizikai alapú modellezési módszereket, tehát a rendelkezésre álló adatokhoz és projektspecifikus követelményekhez adaptálható (Graham és Butts 2005). A MIKE SHE modell ezáltal alkalmas a TIKEVIR vízgazdálkodási döntéseinek operatív, valós idejű támogatására, illetve az infrastrukturális és vízviszszatartási döntések stratégiai megalapozására.

Az általunk kiválasztott paraméterek szimulált eredményeit a program térképek, grafikonok, táblázatok, idősorok, animációk formájában állítja elő. A modell segítségével az alábbi paraméterek értelmezésére nyílik lehetőség: terményegyüttható, referencia párolgás, $ET_{ref} \times K_c$, tényleges párolgás, tényleges transzspiráció, tényleges evaporáció, tényleges párolgás az intercepcióból, tényleges párolgás a tározott vízből, lombkorona felfogásból adódó tárolás, párolgás a telített zónából, a felszíni vizek mélysége, felszíni áramlás, felszínről a folyóba áramlás, felszíni vízszintemelkedés, vízmélység, vízhozam, beszivárgás a telített zónába (negatív), cserélődés az telített zóna és a telített zóna között (felfelé), telített zóna vízhiánya, telített zóna teljes feltöltődése (lefelé), a telített zónában tárolás változásának mértéke, a telített zóna áramlása, a telített zóna víztartalma, nyomásmagasság a telített zónában, nedvességtartalom a telített zónában, gyökér vízfelvétel, nyomásmagasság a telített zónában, szivárgás telített zónából - felszíni áramlás, felszínáramlás - szivárgása a telített zónában (negatív), talajvíz áramlása, a tárolt telített zóna vízszintmagasság a telített zóna áramlásával, telített zóna cserélődés a folyóval (DHI 2023c).

INTEGRÁLT HIDROLÓGIAI MODELL INTEGRÁLÁSA A MIKE SHE KÖRNYEZETBE A TIKEVIR TERÜLETÉRE

A projekt keretében felépített modell két komponensből tevődik össze. A MIKE SHE modell a mintaterület körvonalát, a területre vonatkozó digitális domborzatmodellt, a hidrometeorológiai adatsorokat, a területhasználati és felszínborítás adatokat, a talajfizikai és sekélyföldtani paramétereiket, valamint a talajvíztükör alakulására vonatkozó fedvényeket igényli. A MIKE Hydro River futtatásához medergeometriai és mederállapot adatokra (kereszt- és hosszszelvények, mederérdesség), a vízszabályozó műtárgyakra és azok üzemelési szabályzataira, valamint a vízkivételi pontokra, és az ott kivett vízkészletekre vonatkozó adatokra van szükség. Az alábbiakban áttekintjük és értelmezzük a rendelkezésre álló adatok körét, feldolgozásuk, tárolásuk módját, valamint azokat a dinamikus adat-asszimilációs lehetőségeket, melyek lehetővé teszik a valós idejű integrált hidrológiai modellezést MIKE SHE szoftverkörnyezetben.

A talaj és sekélyföldtani adatokat a modellezés időléptékében értékelhetjük statikus térbeli adatként. Ezen adatok előkészítését ArcGIS Pro szoftverkörnyezetben végeztük. A területborítottságot és a területhasználati adatokat első iterációban szintén statikus adatnak tekintettük, ugyanakkor megjegyzendő, hogy eltérő mezőgazdasági haszonnövények eltérő módon befolyásolják a beszivárgást és a párolgási folyamatokat, így lényeges bizonytalansági faktorként tekinthetünk a fenti tényezőkre. A mezőgazdasági haszonnövények valós idejű evapotranszpiráció-becsülésének területi térképezésére a műholdas távérzékelés és mesterséges intelligencián alapuló növényzet-felismerő mobil térképészeti platform fúziójával jelenleg is aktív kutatásokat folytatunk (*Tamás és társai 2023*). A térinformatikai környezetben előállított dinamikus térinformatikai adatokat MIKE IO interfészen keresztül közvetlenül tápláljuk a MIKE SHE modellkörnyezetbe. A MIKE IO egy ingyenes, nyílt forráskódú Python könyvtár a MIKE adattípusok kezelésére, támogatva az adatok olvasását, írását, elemzését és a hidrológiai modellezési folyamatok automatizálását.

A hidrometeorológiai és vízrajzi monitoring adatok folyamatosan frissülő idősorok, melyek egy-egy monitoring állomás közvetlen közelében tekinthetők reprezentatívnak. A MIKE SHE modell ugyanakkor a rácsáló minden egyes pontjára megköveteli a pontos térbeli kiterjesztését. Ez a kiterjesztés történhet a legközelebbi szomszéd elve alapján (Theissen / Delaunay háromszögeléssel), vagy alternatívaként valamilyen interpolációs megoldással. Az előbbi megoldás térben homogén módon kezeli az adott állomáshoz legközelebb álló területeket, és mivel további paraméterezést nem igényel, ezért az időszaki megfigyelések közvetlenül összekapcsolhatók egy-egy területtel. Jelen tanulmányban ezt a megközelítést mutatjuk be. Ugyanakkor, a monitoring állomásokon mért adatok között térben egyfajta átmenetet figyelhetünk meg. Ezt az átmenetet a megfigyelések tér-időbeli dinamikájának elemzésével, a MIKE szoftverkörnyezeten kívül, jóval kifinomultabb előrejelző módszerekkel (sztochasztikus szimulációkkal), sokkal valóságghűbben képezhetjük le (*Fehér 2015*). Az említett módszert a hőmérséklet, referencia evapotranszpiráció és a csapadék adatok térbeli kiterjesztésére alkalmaztuk. Az így kapott fedvény idősorokat szintén MIKE IO interfész segítségével tudjuk beépíteni a modellbe.

A dinamikus fedvények alapadatai, csakúgy, mint a hidrológiai állomásadatok egy-egy megfigyelési pontra vonatkozó idősorok. Ezek az idősorok időben folyamatosan frissülnek. Az adatok rendezett tárolása Microsoft SQL adatbázisban történik. Az adatbázisunk az egyes hidrológiai, hidrometeorológiai paraméterek adatait állomásonként tartalmazza. Az állomások térbeli koordinátái alapján térinformatikai fedvényeket hoztunk létre, majd a fedvények egyes objektumaihoz a megfelelő időszaki megfigyeléseket ODBC adatbázis-kapcsolaton keresztül a MIKE IO Python interfész segítségével rendeltük hozzá.

A hidrodinamikai modell készítése előtt először is tisztázni kell, milyen adatokra lesz szükségünk. Fontos megvizsgálni az adatformátumok követelményeit, és ezek

alján beszerezzük a szükséges adatokat. Ezután meghatározhatjuk a szükséges bemeneti adattípusokat. Ezt követően dönthetünk arról, mely további adatok beszerzése szükséges és indokolt a modell pontosítása érdekében. A továbbiakban a TIKEVIR integrált hidrodinamikai modelljének bemenő adatait értékeljük.

Hidrometeorológiai adatsorok

A klímaadatok integrációjához a MIKE SHE hidrológiai modell három fő adatkategóriát igényel: csapadékmennyiség, légköri hőmérséklet és referencia párolgási potenciál (Referencia evapotranszpiráció). A csapadékmennyiség kiemelt jelentőséggel bír a lefolyásmodellek számára, mivel ez képezi a hidrológiai rendszer fő vízbevitelét. A vizsgálati területen 30 meteorológiai állomás adatai álltak rendelkezésre (Országos Meteorológiai Szolgálat, Aszálymonitoring, KITE forrásokból), melyeket óránkénti rögzítések formájában gyűjtöttek. A modell alkalmazásában ezen adatokat napi felbontásra alakítottuk, a csapadék esetén napi csapadék összeg, míg légköri hőmérséklet és referencia párolgási potenciál esetén a napi átlagot hoztuk létre. Az így kapott állományosított értékeket alkalmaztuk az egyes mérőállomások által reprezentált területeken. A Thiessen poligonok alkalmazása lehetővé tette a mérőállomások által gyűjtött adatok az egész területre történő kiterjesztését, így a modellezés során az adatok minden részletre kiterjedő, folytonos képet adnak a terület állapotáról. Ez a módszer különösen hasznos lehet olyan helyzetekben, ahol az adatok gyűjtése korlátozott, vagy a mérőállomások távolsága miatt az adatok közötti területi folytonosság hiányos.

A modell szerint a csapadék képes a lefolyásra, a talajba történő beszivárgásra, vagy ideiglenes tárolódásra a talajban. A beszivárgásának és a felszíni lefolyásnak a modellezése során kiemelt jelentőséget kapnak a vegetáció jelenléte, a talajborítás állapota és a telítetlen talajzóna jellemzői. Ezek a paraméterek alapvetően befolyásolják a vízmegmaradás és mozgás mechanizmusait a hidrológiai ciklusban. A csapadék fizikai formája legyen szó esőről vagy hóról, továbbá szükségessé teszi a hőmérsékleti adatok figyelembevételét a szimuláció időtartama alatt, mivel ezek a tényezők döntően befolyásolják a víz állapotát és rendelkezésre állását a környezetben. A hőmérséklet közvetlen hatással van a modellezett hidrológiai folyamatokra, így a víztárolásra fagyos időszakokban, valamint a párolgás intenzitására magas hőmérsékleti értékek esetén. Ezek a dinamikák alapvetően meghatározzák a vízkészletek eloszlását és a hidrológiai rendszer általános működését.

A referencia párolgási potenciál kulcsfontosságú szerepet játszik a tényleges párolgás meghatározásában, amely a rendelkezésre álló vízkészletek és a vegetáció jelenléte függvényében dinamikusan változik. Ez lehetővé teszi a modell számára, hogy modellezze a víz transzferét a talajfelszínről és a vegetációból a légkörbe, figyelembe véve a növényzet transzpirációs igényeit. Ennek eredményeként a modell képes reprezentálni a vegetáció által felhasznált vízmennyiséget. Emellett a modell dinamikusan modellezi a talajvíz, a felszíni víz és a vegetáció közötti vízcsere, biztosítva ezzel, hogy a hidrológiai ciklus összetevői közötti interakciók valóságghűen legyenek ábrázolva.

Előnyök közé sorolható, hogy felhasznált klímaadatok bárki számára ingyenesen elérhetőek és letölthetőek. A meteorológiai állomások által mért adatok általában jó minőségűek és pontosak, mivel szigorú szabványok szerint gyűjtik őket, ez biztosítja, hogy a bemeneti adatokon alapuló modell megbízható legyen. Ezek az állomások folyamatosan gyűjtnek adatokat, lehetővé téve a valós idejű vagy közel valós idejű adatok integrálását a modellezésbe, ami növeli a döntéshozatali folyamatok aktualitását és relevanciáját. Többféle klimatikus és talaj paramétert is mérhetnek, lehetővé téve egy komplex hidrológiai modell kialakítását. A Thiessen poligonok alkalmazásával a meteorológiai állomások adatainak területi reprezentativitása javítható, így a modellezés során az adatok folytonos képet adnak a vizsgált terület állapotáról.

Hátrányok közé sorolható, hogy különböző meteorológiai állomások esetében eltérő mérési protokollok és eszközök használata standardizációs problémákat okozhat, ami nehezíti az adatok összehasonlítását és integrálását, emellett befolyásolhatja a modell általános pontosságát. Az eszközhibák, emberi tévedések vagy természeti események befolyásolhatják az adatgyűjtés folyamatosságát és pontosságát, ami torzíthatja a modell bemeneti adatokat. Előfordulhat, hogy néhány meteorológiai állomás adatgyűjtése nem folyamatos, lehetnek adatkihagyások vagy hosszabb időszakokra vonatkozó adathiányok, amelyek akadályozzák a folyamatos időszakokra vonatkozó analíziseket. Így mindenképpen fontos, hogy a modellbe bemenő adatok felhasználás előtt egy előfeldolgozáson menjenek keresztül, amely során felismerésre (környező állomások adatainak összehasonlításával, statisztikai eloszlásokkal, előre meghatározott határértékekkel) és pótlásra (interpolációs módszerekkel, szomszédos meteorológiai állomásról származó adatokkal, gépi tanulási modellekkel) kerülnek a pontatlan értékek és az adathiányok az adatbázisban. A távoli állomásokról származó adatok esetén az adatátviteli hibák vagy késedelmek befolyásolhatják az adatok időszerűségét és pontosságát, ezzel hátráltatva a valós idejű vagy közel valós idejű adatok integrálását a modellbe. A meteorológiai állomások területi eloszlása nem homogén, illetve nem mindenhol érhető el. Ez korlátozhatja a modell térbeli részletességét és pontosságát, különösen a nagyobb kiterjedésű időjárás állomás nélküli, tehát adattal nem rendelkező területeken.

Felszínhasználati adatok

A modellezett vízgyűjtő területen jellemző növényzeti borítás hatásának értékeléséhez a 1:100 000 méretarányú Corine Land Cover (CLC) adatbázist alkalmaztuk. A felszínhasználati adatok kulcsfontosságúak a hidrológiai modellezés során, mivel befolyásolják az infiltrációt, a víz eloszlását, az evaporációt és a felszíni lefolyást. A felszínborítás befolyásolja a felszíni áramlást és az evapotranszpirációs komponens a modellezés során.

A CLC adatbázis az Európai Unió kiterjedt földhasználati és földborítási adatgyűjteménye, amely részletes információkat szolgáltat a táj használatáról. A CLC 2018 adatok felhasználásával a MIKE SHE modellben meghatároztuk a különböző földhasználati típusok paramétereit. Ezek a paraméterek magukban foglalják többek között a

növényzettípusokat és a felszínborításhoz kapcsolódó paramétereket.

Modellezés szempontjából, különböző évek összehasonlítása esetén ideálisabb lenne, az adott évre jellemző felszínborítást alkalmazni. A CLC térkép új, frissített változata körülbelül ötévente készül el, tehát csak bizonyos évekre érhetőek el a felszínborítás adatok, nagy időbeli kihagyásokkal. Az területi elemzéseket befolyásolja, hogy az adatbázis 100 méteres rácsfelbontással rendelkezik, amely nem elegendő a kis területű változások vagy részletek pontos azonosításához. A kategóriák széleskörűek lehetnek, ami korlátozhatja a specifikus földhasználati típusok részletes elemzését. Ilyen lehet például a mezőgazdasági terület kategória, mely nincs tovább részletezve specifikusan a természetű növényfajtákra, ezzel általánosítva a regionális elemzést. Komplex és változatos tájak, mint például a mozaikszerű mezőgazdasági területek vagy az átmeneti ökoszisztémák, nehezen modellezhetőek és osztályozhatóak a CLC rendszerben, ami pontatlanságokhoz vezethet az ilyen területek reprezentációjában.

Vegetációs adatok

Az evapotranszpirációs és intercepciós komponens kiszámításához a MIKE SHE-nek szüksége van a levélterület-indexre (LAI) és gyökérszóna mélységére, melyeket minden felszínhasználati kategóriához meg kell határozni.

A levélterület-index (LAI) azt mutatja meg, hogy egy adott területre vetítve mennyi levélterület van. Az LAI egy dimenzió nélküli szám, amely kifejezi a levelek területének és a földfelszín alatti terület arányát, általában m^2 levélterületet m^2 földterületre vetítve. Ez az index fontos a növényzettel kapcsolatos különböző ökológiai és hidrológiai folyamatok, mint a transzpiráció modellezéséhez. A gyökérszóna mélysége fontos ökológiai és hidrológiai paraméter, amely jellemzi azt a talajréteget, ahol a növények gyökerei aktívan vizet és tápanyagokat vesznek fel. Ez a mélység jelentősen befolyásolja a növények vízellátását, növekedését és életfolyamatait, valamint a talajvíz töltődését és a talaj nedvességtartalmának dinamikáját. A gyökérszóna mélysége változó, függ a növényfajától, a talajtípustól, a vízellátástól és az éghajlattól.

A vegetációs adatok minősége és gyűjtésük módja jelentősen befolyásolja a modellezés pontosságát és megbízhatóságát. A LAI és a gyökérszóna mélységének ismerete elengedhetetlen a növényzettel kapcsolatos ökológiai és hidrológiai folyamatok, például a transzpiráció és a talajvíz töltődésének modellezéséhez. A modellezés szempontjából előnyös a pontosabb és részletesebb vegetációs adatok használata, mert lehetővé teszik a MIKE SHE modell finomhangolását. Hátrányok között kell megemlíteni a terepi mérések magas költségeit és időigényességét, amely korlátozhatja a vegetációs adatok széles körű gyűjtését. Emellett az elérhető távérzékelés, alacsony felbontású műholdas adatoknak korlátozott a részletessége és a pontossága, amelyek negatív hatással vannak a modellezési eredmények megbízhatóságára. Ezek alapján elmondható, hogy a vegetációs adatok, különösen a gyökérszóna mélysége, gyakran nehezen mérhetőek, ami pontossági problémákat okozhat. A legpontosabb adatokat terepi mérések

kel lehet megszerezni, amelyek nagy térbeli felbontást biztosítanak. Ez azonban jelentős emberi erőforrás és költségigényt jelent, valamint hosszú időt vehet igénybe. Bár a műholdas technológiák lehetővé teszik a vegetációs adatok nagy területre való gyűjtését, ezek gyakran alacsony térbeli és időbeli felbontásúak, ami kevésbé részletes és pontos adatokat eredményez.

Talajfizikai és sekélyföldtani adatok

Az AGROTOPO térkép egy részletes agrotopográfiai adatbázisra épülő térképsorozat, amely Magyarországon készült a talajtípusok, talajadottságok és mezőgazdasági területek jellemzésére. A projekt az 1970-es évek végén indult, célja pedig az volt, hogy feltérképezze Magyarország agroökológiai potenciálját, azaz a mezőgazdasági tevékenységek számára elérhető termőhelyi adottságokat és korlátokat. Az AGROTOPO térképsorozat az ország talajviszonyait 1:100 000-es méretarányban ábrázolja, alapját pedig a Kreybig-féle Átnézetes Talajismereti Térképek képezték, amelyeket később digitálisan feldolgoztak és a magyar egységes vetületi és topográfiai rendszerhez igazítottak.

A talajfizikai adatok a talaj fizikai tulajdonságaira vonatkoznak, beleértve a porozitást (a talaj pórustérfogatának aránya), a vízvisszatartási képességet (a talaj képessége a víz megőrzésére és növények számára való elérhetővé tételére), a hidraulikai vezetőképességet (a talajon keresztüli vízáramlás képessége), valamint más specifikus jellemzőket, mint a fedett és fedetlen víztartók, a talajban történő víztározás és fajlagos tározás, a pF-görbe, ami a vízpotenciál és a talaj nedvességtartalmának összefüggését írja le. Ezek a jellemzők kulcsfontosságúak a talajvíz áramlásainak, tározási folyamatainak és a növények vízfelvételének pontos modellezésében.

Az AGROTOPO térkép és a talajfizikai adatok összefüggése abban rejlik, hogy az AGROTOPO adatbázis biztosítja a talajfizikai paraméterek térbeli eloszlásának alapját. A térkép segítségével meg lehet határozni a különböző talajtípusok elhelyezkedését Magyarországon, valamint ezek fizikai és hidraulikai tulajdonságait. A talajtípusok meghatározása és a hozzájuk kapcsolódó fizikai adatok integrálása a modellekbe lehetővé teszi a talaj-víz rendszer dinamikájának pontosabb megértését és előrejelzését, így hozzájárulva a mezőgazdasági tervezéshez, a vízgazdálkodáshoz és az agrár-környezeti kockázatkezeléshez.

Ezek az adatok, amikor integrálódnak a hidrológiai modellbe, fontos eszközt biztosítanak a talaj és víz interakciók, a vízmozgások és a vízvisszatartási képesség összetett elemzéséhez. Viszont a 1:100 000-es méretarányú adatok korlátai miatt ezek az információk nem mindig elegendően részletesek a helyi szintű elemzésekhez. E hiányosságok ellenére a nagyobb felbontású adatok, amelyek pontosabb modellezést tesznek lehetővé, gyakran csak korlátozott mértékben érhetők el vagy helyszíni adatgyűjtéssel és mérésekkel kell kiegészíteni.

A talajviszonyok időbeli változásai befolyásolhatják az adatok relevanciáját. Ez kihívást jelent, mivel az adatbázis esetleg nem tartalmazza a legfrissebb talajváltozásokat, ami a modellek aktualitását és relevanciáját befolyásolhatja. Az alacsony felbontású adatok, általánosíthatják a területi adottságokat, ami pontatlanságokhoz vezethet a

vízmozgás és eloszlás modellezésében, ezzel csökkentve a modell megbízhatóságát. E megbízhatóság ugyanis közvetlenül függ az alapul szolgáló adatok pontosságától és aktualitásától, amelyek így döntő szerepet játszanak a hidrológiai modellezés sikerességében.

Talajvíz adatok

A talajvíz a földfelszín alatti vízkészletek egyik fő formája, amely a talajpórusokban és kőzetek repedéseiben található meg és változó szintje jelentős hatást gyakorol az ökoszisztémákra és a mezőgazdaságra. A talajvízszint, amely időről időre változik az esőzések, talajjellemzők, növényzet és egyéb tényezők függvényében, létfontosságú a növények vízellátásában és a felszíni víztömegek, mint folyók és tavak vízmérlegében. Ennek monitorozása és modellezése elengedhetetlen a vízgazdálkodási stratégiák és a mezőgazdasági öntözés tervezése során, valamint az aszályok és árvizek előrejelzésének javításában.

A talajvízszintek pontos mérésére és modellezésére irányuló erőfeszítések kulcsfontosságúak a vízkészletek megfelelő kezelése szempontjából. Automata talajvízkutak és gyakori mérések segítenek a változások nyomon követésében, növelve az előrejelzések megbízhatóságát és elősegítve az integrált vízgazdálkodási megközelítések kidolgozását. Azonban a kutak elhelyezkedése és a gyűjtött adatok reprezentativitása jelentős kihívásokat jelenthet, ami torzított képet adhat a talajvízszint valós állapotáról, így hangsúlyozva a pontos és kiterjedt adatgyűjtés fontosságát.

A hidrológiai modellek, amelyek a talajvíz és a felszíni víz kölcsönhatását elemzik, segíthetnek az öntözési stratégiák és vízkészletek hatékony kezelésében. Az adatok gyűjtése és az interpoláció révén történő területi kiterjesztése lehetővé teszi a talajvízszintek pontosabb modellezését, bár bizonyos bizonytalanságokkal jár, különösen nagy távolságú mérőkutak és alacsony adatfelbontás esetén.

MIKE HYDRO RIVER MODELL

A MIKE Hydro River egy önálló modellező szoftver a folyók áramlásának elemzése, a hidrológiai változások értékelésére alkalmas, amely egyúttal a MIKE SHE modellkomponenseként is funkcionál. Ez a rendszer hid szerepet tölt be a környezeti elemzések és a vízhálózati adatok között, lehetővé téve egy integrált hidrológiai modell megvalósítását. Azáltal, hogy a MIKE Hydro River ötvözi a vízhálózat adatait a szélesebb környezeti kontextussal, egy olyan összetett modellt nyújt, amely képes a vízi erőforrások komplex elemzésére és kezelésére. Az alábbi fejezetekben a MIKE Hydro River modell bemenő adatait ismertetjük.

Vízrajzi térinformatikai rétegek

3. táblázat. Vízrajzi térinformatikai rétegek típusai
Table 3. Types of hydrographic GIS layers

Réteg típusa	Felhasználás és adat típus
Kép	Műholdkép (RGB) – JPEG
Shape	Munkaterület – Polygon Vízhálózat hossz-szelvény – Vonal Vízállás és vízhozam mérés helye – Pont Vízi műtárgyak helye – Pont Vízikivétel helye – Pont
Raszter	Domborzati modell – GeoTIFF/.dfs2

A digitális domborzati modellt (DDM) egy 3D-s adatstruktúra, amely a Föld felszínének vagy egy adott terület

domborzatának magassági adatait tárolja digitális formában, fontos eszköz a geográfiai információs rendszerekben, mérnöki tervezésben és modellezésben. A 100 méter felbontású DDM-ek széles körben alkalmazhatóak vízgyűjtő területek határainak meghatározására, folyók és csatornák hálózatának tervezésére és a felszíni lefolyás modellezésére, általános áttekintést nyújtva a domborzatról, de korlátozott részletességgel a finomabb topográfiai jellemzők tekintetében.

A modellezés során két fontos adatminőségi kritérium a felbontás és az adatok frissessége. Míg egy magasabb felbontású DDM lehetővé teszi a domborzat részletesebb ábrázolását, javítva ezzel a modell előrejelzési képességét és segítve a pontosabb medergeometria meghatározását, nagyobb számítási erőforrást igényel. Az adatok frissessége létfontosságú a domborzat aktuális állapotának pontos tükrözésében, ami növeli a modellezés relevanciáját és pontosságát, míg a régebbi adatok téves következtetésekhez vezethetnek.

Ezt jelenti, hogy a DDM-ek kulcsfontosságúak a hidrológiai és a földrajzi tervezési folyamatokban, ahol a domborzat pontos ábrázolása szükséges, ugyanakkor a választott felbontás és az adatok frissessége meghatározó tényezők a modellezési eredmények minőségében és használhatóságában.

Hidrológiai mérőállomás adatsorok

A hidrológiai mérőállomásokról származó adatok elengedhetetlenek a MIKE Hydro River modell kalibrációs és validációs folyamatához. Ezek az állomások széles körű hidrológiai és hidraulikai információkat szolgáltatnak, amelyek magukban foglalják a vízhozamokat, a vízszinteket és a vízkivételek időbeli változásait. A modell kalibrációját és validációját ezen adatok integrálása és alapos elemzése lényeges mértékben befolyásolhatja, ami alapvetően hozzájárul a szimulációk megbízhatóságához. Az alábbi hidrológiai és hidraulikai adattípusok, mint a vízhozamok, a vízszintek és a vízkivételek, kulcsfontosságú információkat szolgáltatnak a vízhálózat állapotáról és viselkedéséről.

A hidrológiai adatgyűjtés automatizált mérőállomásokon és emberi helyszíni mérésekkel történik, amelyeknek egyedi előnyei és hátrányai vannak, beleértve az adatminőségi szempontokat is. Az emberi megfigyelők adaptívabbak és döntéshozatali képességgel rendelkeznek a változó körülmények között, ami speciális helyzetekben pontosabb eredményeket eredményezhet, bár ezek a mérések szubjektívek és hajlamosak az emberi hibára, korlátozott gyakoriságúak és költségesebbek.

Automatizált mérőállomások használata minimalizálhatja az emberi hibákat, lehetővé téve a folyamatos, objektív adatgyűjtést emberi beavatkozás nélkül, még távoli helyszíneken is. Bár a kezdeti beruházási költségek magasak lehetnek, hosszú távon ezek a rendszerek költséghatékonyabbak lehetnek az emberi mérésekkel összehasonlítva. A szenzorok azonban karbantartást igényelnek, és korlátozott pontosságúak lehetnek extrém körülmények között.

A hidrológiai adatgyűjtés legjobb gyakorlata az emberi megfigyelések és az automatizált szenzoros adatgyűjtés

kombinációja lehet, amely együttesen javítja az adatok pontosságát és megbízhatóságát, különösen változatos környezeti feltételek között. Ez az integrált megközelítés kulcsfontosságú lehet a pontos és megbízható hidrológiai modellek fejlesztésében.

Vízfolyások keresztmetszései

A vízfolyás keresztmetszései egy adott ponton a vízfolyás vertikális metszete, amely a szélességét, mélységét, meder alakját és meredekségét ábrázolja. Ez a metszet kulcsfontosságú a hidraulikai és hidrológiai modellezésben, árvízvédelmi tervezésben és vízpépítési munkákban, lehetővé téve a vízfolyás vízhozamának kiszámítását és az árvizek előrejelzését. A meder geometriája és keresztmetszete idővel változhat a feliszapolódás és a növényzet jelenléte miatt, amelyek befolyásolják a vízfolyás mélységét és vízhozamát, valamint az áramlási sebességet.

A meder változásainak nyomon követése érdekében a hidraulikai szimulációkhoz naprakész keresztmetszeti adatokra van szükség, amit részletes terepi felmérésekkel lehet biztosítani. Ezek a felmérések frissíthetők a modell bemenő paramétereit a meder aktuális állapotának megfelelően, de időigényesek és költségesek lehetnek. Bizonyos esetekben, mint a Keleti főcsatornánál, már elkezdődtek az ilyen felmérések, de a hiányzó friss adatok miatt gyakran szükséges az adatok általánosítása a modellben, a szabványos előírások figyelembevételével.

Vízszintszabályozó műtárgyak üzemelési szabályzatai

A vízpépítési és vízszintszabályozó műtárgyak olyan szerkezetek vagy építmények, amelyek a vízgazdálkodás, az árvízvédelem, a vízellátás, a hajózás támogatása és egyéb hidraulikai rendszerek céljait szolgálják. Ezek a műtárgyak lehetővé teszik a víz irányítását, szintjének szabályozását, tárolását, valamint az árvizek megelőzését és kezelését. A vízpépítési műtárgyak esetében, például zsilipekre, átvezetésekre, szivattyúkra és tározókra vonatkozó adatokat, valamint azok működési szabályait határozzuk meg.

A vízszintszabályozó műtárgyak üzemelési szabályzatai olyan irányelvek és előírások gyűjteményei, amelyek meghatározzák, hogyan kell ezeket a műtárgyakat (mint például gátakat, zsilipeket, szivattyúállomásokat és tározókat) biztonságosan és hatékonyan üzemeltetni. Ezek a szabályzatok részletezik az üzemeltetési eljárásokat, a karbantartási követelményeket, az árvízvédelmi intézkedéseket, a vízminőség-kezelési eljárásokat, valamint az emberi és környezeti biztonságot érintő előírásokat. A területileg felelős vízügyi igazgatóságok az említett műtárgyak esetén irányelveket és előírásokat alkotnak az üzemeltetési körülmények biztosítása érdekében.

Megtervezett üzemrendek szerint történik a vízkormányzás a Kiskörei Vízlépcsőnél, meghatározva ezzel a Tisza-tó üzemvízszintjeit. A tenyészidőszakban (aszályos helyzet kialakulása esetén) a Kiskörei felső vízmércén tartott 735 ± 5 cm-es duzzasztott vízszint beállításra kerül, ezzel is biztosítva plusz vízkészlet tározását mezőgazdasági célú hasznosításra. Ekkora vízfelületen minden egyes többlet cm, több mint $1\,000\,000$ m³ többlet vízkészletet jelent a Kiskörei tározóban (Lovas 2018).

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A TIKEVIR területére alkalmazott MIKE Hydro River és MIKE SHE modellek alkalmazása jelentős mértékben hozzájárulhat a mezőgazdasági vízgazdálkodás és a precíziós növénytermesztés fejlődéséhez. Ezek a modellek lehetővé teszik a vízügyi szakemberek számára, hogy mélyebb betekintést nyerjenek a vízhasználat és a termelési gyakorlatok közötti összefüggésekbe, ami alapján optimalizálhatják a vízfelhasználást és javíthatják a termelési folyamatok hatékonyságát, emellett nagy segítség a klímaváltozás hatásainak előrejelzésében is (*van Delden és társai 2011*). Ennek eléréséhez a következő lépések javasoljuk:

- Kezeljük proaktívan az adatgyűjtés és feldolgozás kihívásait, különös figyelmet fordítva a mérési pontatlanságok és az adatrögzítési hibák minimalizálására. Ez tartalmazza a mérési technikák finomítását és az adatkezelési eljárások optimalizálását, amelyek segítségével javíthatjuk a felmerülő hiányzó vagy hibás adatokat. Az idősoros adatok integritásának biztosítása elengedhetetlen a modell alapú előrejelzések és elemzések megbízhatóságához. Ezáltal prioritást élvez az adatgyűjtési és kezelési módszerek folyamatos fejlesztése és finomhangolása, amivel garantálható, hogy a modellezés során felhasznált adatok a lehető legpontosabbak és legfrissebbek legyenek. Ez különösen lényeges azokban az esetekben, ahol az adatok beszerzése nagy kihívást jelent, valamint olyan helyzetekben, ahol a modell eredményességét jelentősen befolyásolja az elérhető adatok mennyisége és minősége. A mélyreható adatismeretünkkel és az elérhető információk felhasználásával képesek vagyunk azonosítani és kezelni a modellezési folyamatokban felmerülő potenciális gyengeségeket. Ezáltal növeljük a modellek megbízhatóságát és pontosságát, amely közvetlenül hozzájárul a döntéstámogató rendszerek hatékonyabb működéséhez.
- Integráljuk a modellezési eredményeket a döntéstámogató rendszerekbe, így lehetővé téve a döntéshozók számára, hogy valós időben támaszkodjanak a modell által szolgáltatott adatokra, amikor vízgazdálkodási és növénytermesztési stratégiáikat alakítják. A stratégia hosszú távon az infrastruktúra-fejlesztés és klímadaptáció átfogó céljaira és irányelveire összpontosít, míg a taktika a valós idejű alkalmazkodást és operatív döntéseket segítik, amelyek az aktuális feltételekhez való gyors és hatékony alkalmazkodást teszik lehetővé. Ezáltal a döntéshozók képesek lesznek a stratégiai irányelvek mentén tervezni, ugyanakkor rugalmasan reagálni a taktikai szinten felmerülő kihívásokra és lehetőségekre.
- Végezzünk részletes kockázatelemzést a modellezési eszközök segítségével. Fedjük fel a fenntartható vízgazdálkodási gyakorlatok esetleges kockázatait, és azonosítsuk azokat a tényezőket, amelyek az optimális vízszétosztást és a termelés sikerességét befolyásolhatják.
- Biztosítsunk folyamatos adatgyűjtést és elemzést, amely elengedhetetlen a modell paramétereinek finomításához és a modellezési eredmények pontosságának javításához.

- Alakítsunk ki támogatási rendszereket, amelyek ösztönzik a vízügyi igazgatóságokat a modellezési eszközök használatára és a fenntartható vízgazdálkodási technikák alkalmazására.
- Ne feledkezzünk meg a modellezési eszközök és technológiák folyamatos fejlesztéséről, hogy azok még pontosabb és felhasználóbarátabb eredményeket szolgáltatassanak.
- Ezeknek az intézkedéseknek a megvalósítása elősegítheti a TIKEVIR területén működő vízügyi igazgatóságok vízgazdálkodási gyakorlatainak fejlesztését, a termőhely specifikus növénytermesztés hatékonyságának növelését és hozzájárulhat a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok szélesebb körű alkalmazásához.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnénk megköszönni a TIVIZIG és a DHI Magyarország a támogatását és az értékes hozzájárulásukat, amely nélkülözhetetlen volt a kutatásunk során. A közleményben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- Albek, M., Ogutveren, U.B., Albek, E. (2004).* Hydrological Modelling of Seydi Suyu Watershed. *J. Hydrol.*, 285 (1-4). pp. 260-271. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.09.002>
- Arnold, J.G., Allen, P.M., Bernhardt, G. (1993).* A Comprehensive Surface-Groundwater Flow Model. *J. Hydrol.*, 142 (1-4). pp. 47-69. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90004-S](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90004-S)
- Bárdossy Gy., Fodor J., Molnár P., Tungli Gy. (2000).* A bizonytalanság értékelése a földtudományokban. *Földtani Közlöny.* 130. pp. 291-322
- Bartholy J., Pongrácz R., Gelybó Gy., Szabó P. (2008).* Milyen mértékű változás várható a Kárpát-medence éghajlati szélsőségeiben a XXI. század végére? *Légekör,* 53/3. pp. 19-23.
- Bosch, D.D., Sheridan, J.M., Batten, H.L., Arnold, J.G. (2004).* Evaluation of the SWAT Model on a Coastal Plain Agricultural Watershed. *Trans. ASAE,* 47 (5). pp. 1493-1506. <https://doi.org/10.13031/2013.17629>
- Bozán C., Tamás J. (2008).* Land use risk evaluations on the Békés-Csanád loess plateau. *Cereal Research Communications,* 36. pp. 615-618. <http://www.jstor.org/stable/90002779>
- Brun, S.E., Band, L.E. (2000).* Simulating Runoff Behavior in an Urbanizing Watershed. *Comput. Environ. Urban Syst.,* 24 (1). pp. 5-22. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(99\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(99)00040-X)
- Carless, D., Kulessa, B., Booth, A.D., Drocourt, Y., Sinnadurai, P., Alayne Street-Perrott, F., Jansson, P., (2021).* An integrated geophysical and GIS based approach improves estimation of peatland carbon stocks, *Geoderma,* Volume 402, 115176, ISSN 0016-7061. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115176>
- Caers, J. (2011).* Modeling uncertainty in the earth sciences. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119995920>

- Chen, W.B., Liu, W.C. (2017). Modeling the influence of river cross-section data on a river stage using a two-dimensional/ three-dimensional hydrodynamic model. *Water*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/w9030203> Connolly, R.D., Silburn, D.M., Ciesiolka, C.A.A. (1997). Distributed Parameter Hydrology Model (ANSWERS) Applied to a Range of Catchment Scales Using Rainfall Simulator Data. III. Application to a Spatially Complex Catchment. *J. Hydrol.*, 193 (1-4). pp. 183-203. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03136-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03136-8)
- Csorba P. (2021). Magyarország kistájai. Meridián Táj- és Környezetföldrajzi Alapítvány, Debrecen. ISBN 978-963-89712-4-1
- DHI (2004). *MIKE 11 User & Reference Manual*. Danish Hydraulic Institute.
- DHI (2014). *MIKE SHE User Manual, User Guide, DHI Software 370 p*
- DHI (2023a). *MIKE HYDRO River User Manual. DHI Software. 26 p*
- DHI (2023b). *MIKE SHE User Manual. User Guide DHI Software. 42 p*
- DHI (2023c). *MIKE SHE User Manual. User Guide DHI Software. 212 p*
- El-Nasr, A., Arnold, J.G., Feyen, J., Berlamont, J. (2005). Modelling the Hydrology of a Catchment Using a Distributed and a Semi-Distributed Model. *Hydrological Process.*, 19 (3). pp. 573-587. <https://doi.org/10.1002/hyp.5610>
- Fehér Zs. (2015). Talajvízkészletek változásának geostatistikai alapú elemzése – a rendelkezésre álló információk természete és feldolgozása. *Hidrológiai Közlöny* 85 (2). pp. 15-31.
- Fehér Zs., Rakonczai J. (2019). Analysing the sensitivity of Hungarian landscapes based on climate change induced shallow groundwater fluctuation. *Hungarian Geographical Bulletin*, 68(4). pp. 355-372. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.68.4.3>
- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., Arnold, J.G. (2007). The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. *Trans. ASABE*, 50 (4). pp. 1211-1250. <https://doi.org/10.13031/2013.23637>
- Graham, D.N., Butts, M.B.(Eds.) (2005). *Flexible Integrated Watershed Modelling with MIKE SHE*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Haghighatafshar, S., Nordlöf, B., Roldin, M., Gustafsson, L.G., la Cour Jansen, J., Jönsson, K. (2018). Efficiency of blue-green stormwater retrofits for flood mitigation – Conclusions drawn from a case study in Malmö, Sweden, *Journal of Environmental Management*, Volume 207. pp. 60-69. ISSN 0301-4797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.018>
- He, X., Lucatero, D., Ridler, M-E., Madsen, H., Kidmose, J., Hole, Ø., Petersen, C., Zheng, C., Refsgaard, J.C. (2019). Real-time simulation of surface water and ground-water with data assimilation, *Advances in Water Resources*, Volume 127. pp. 13-25. ISSN 0309-1708, <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.03.004>
- Hipel, K.W. (Ed.) (2010). *Stochastic and Statistical Methods in Hydrology and Environmental Engineering: Time Series Analysis in Hydrology and Environmental Engineering*. Publ. Springer, p. 496. ISBN-10: 9048143799
- Illangasekare, T.H. (2001). MIKE SHE Code Verification and Validation for RFETS Site-Wide Water Balance Model. Colorado School of Mines, Golden, Colorado, USA. http://integratedhydro.com/websitePages/MSHE-Verification_summary
- IPCC (2023). Section 3: Long-Term Climate and Development Futures - Long-Term Climate Change, Impacts and Related Risks. p. 68.
- Irimuş, I.A., Rus, M.I., Cioban, T.D., Bilaşco, S. (2015). Quantitative Estimation of Annual Average Rate of Soil Erosion in the Almas Hydrographical Basin, Using USLE and GIS. In: 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Conference Proceedings/Vol.II, Geodesy & Mine Surveying, Cartography & GIS, STEF92 Technology Ltd 51”Alexander Malinov”, Sofia, Bulgaria, pp. 1071-1079.
- Jayatilaka, C.J., Storm, B., Mudgway, L.B. (1998). Simulation of Water Flow on Irrigation Bay Scale with MIKE SHE. *J. Hydrol.*, 208. pp. 108-130. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00151-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00151-6)
- Kemény G., Varga T., Fogarasi J., Nemes A. (2013). The effects of weather risks on micro-regional agricultural insurance premiums in Hungary. – *Studies in Agricultural Economics* 115, pp. 8-15. <https://doi.org/10.7896/j.1305>
- Knisel, W.G., Williams. J.R. (1995). Hydrology Components of CREAMS and GLEAMS Models. In Singh, V.P. (ed). *Computer Models of Watershed Hydrology*, pp. 1069-1114. Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO.
- Kozma, Zs. (2013). *Belvízi szélsőségek kockázatalapú értékelésének és modellezési módszertanának fejlesztése*. PhD értekezés, BME
- Leandro, J., Chen, A.A., Djordjevic, S., Savic, D.A. (2009). Comparison of 1D/2D coupled (sewer/surface) hydraulic models for urban flood simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(6), pp. 495-504. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000037](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000037)
- Lévesque, Y., Chesnaux, R., Walter, J. (2023). Using geophysical data to assess groundwater levels and the accuracy of a regional numerical flow model. *Hydrogeol J* 31. pp. 351-370. <https://doi.org/10.1007/s10040-023-02591-z>
- Lovas A. (2018). *Negyven éves a Tisza tó*. Kiadó TIKÖVIZIG Szolnok 144. Online elérhetőség: https://kotiweb.vizugy.hu/doksik/tiszato_2018_05_16.pdf ISBN 978-615-00-1647-4

- Marton J., Szanyi J. (1997a).* Kelet-magyarországi pleisztocén üledékek geostatistikai vizsgálata. 1. A transzmisszivitás térképezése. *Hidrológiai Közlöny*. 77 évf. 5. szám. pp. 233-241.
- Marton J., Szanyi J. (1997b).* Kelet-magyarországi pleisztocén üledékek geostatistikai vizsgálata. 2. A rétegek közötti átszivárgás területi meghatározása. *Hidrológiai Közlöny*. 77(5). pp. 241-248.
- McManamay R.A. (2022).* Hydrology and Classification of Rivers for Management, Editor(s): Thomas Mehner, Klement Tockner, Encyclopedia of Inland Waters (Second Edition), Elsevier. pp. 258-275. ISBN 9780128220412. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819166-8.00080-3>
- Mensah, J.K., Oforu, E.A., Yidana, S.M., Akpoti, K., Kabo-bah, A.T. (2022).* Integrated modeling of hydrological processes and groundwater recharge based on land use land cover, and climate changes: A systematic review, *Environmental Advances*, Volume 8, 100224, ISSN 2666-7657. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100224>
- Merkel, W.H. (2002).* Muskingum-Cunge Flood Routing Procedure in NRCS Hydrologic Models. Proceedings of the Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference. Riviera Hotel, Las Vegas, Nevada. 28 July-1 August.
- Mezősi G., Bata T., Blanka V., Ladányi Zs. (2017).* A klímaváltozás hatása a környezeti veszélyekre az Alföldön. *Földrajzi Közlemények* 141. pp. 60-70.
- Mungai, D.N., Ong, C.K., Kiteme, B., Elkaduwa, W., Sakthivadivel, Ramaswamy. (2004).* Lessons from two long-term hydrological studies in Kenya and Sri Lanka. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104. pp. 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.011>
- Nagy Zs., Pálfi G., Priváczkiné Hajdu Zs., Benyhe B. (2019).* Csatornarendszerek üzemeltetése és integrált vízgazdálkodás – a Dong-ér vízgyűjtő területe. In: Ladányi, Zs., Blanka, V. (szerk.): *Aszály és belvíz monitoring és menedzsmet, valamint a kapcsolódó kockázatok a Dél-Alföldön és a Vajdaságban: Konferenciakötet*. pp. 83-96. <http://acta.bibl.u-szeged.hu/id/eprint/66847>
- Nazrul, I., Wallender, W.W., Mitchell, J.P., Wicks, S., Howitt, R.E. (2006).* Performance Evaluation of Methods for the Estimation of Soil Hydraulic Parameters and Their Suitability in a Hydrologic Model. *Geoderma*, 134. pp. 135-151. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.09.004>
- Ndomba, P.M., Birhanu, B.Z. (2008).* Problems and Prospects of SWAT Model Applications in NILOTIC Catchments: A Review. *Nile Basin Water Eng. Sci. Mag.*, 1. pp. 41-52. *Parsons, J.E.*, pp. 41-52.
- Thomas, D.L., Huffman, R.L. (2004.)* Model Summary Tables. In *Agricultural Non-Point Source Water Quality Models: Their Use and Application*. pp. 10–23. Raleigh, North Carolina State University. Southern Cooperative Series Bulletin No. 398. ISBN: 1-58161-398-9. <http://s1004.okstate.edu/S1004/Regional-Bulletins/Modeling-Bulletin/> <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100608>
- Popper, K. (2002).* The Logic of Scientific Discovery (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203994627>
- Rakonczai J., Tran Q.H., Fehér Z. (2023).* Vízkészleteink és a változó klíma – Ne csak ötleteljünk, számoljunk is! Konferencia előadás. XVIII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Szeged.
- Refsgaard, J.C., Storm, B., Clausen, T., (2010).* Système Hydrologique Européen (SHE): review and perspectives after 30 years development in distributed physically based hydrological modelling. *Hydrol. Res.* 41. pp. 355-377. <https://doi.org/10.2166/nh.2010.009>
- Rónai A. (1963).* Az Alföld negyedkori rétegeinek vízföldtani vizsgálata. *Hidrológiai Közlöny*, 43(5). pp. 378-390.
- Rónai A. (1975).* A talajvíz és rétegvizek kapcsolata az Alföldön. *Hidrológiai Közlöny*, 55(2). pp. 49-53.
- Rónai A. (1985).* Az Alföld negyedidőszaki földtana. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- Rubin, Y. (2003).* Applied Stochastic Hydrogeology. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195138047.001.0001>
- Sahoo, G.B., Ray, C., De Carlo, E.H. (2006).* Calibration and Validation of a Physically Distributed Hydrological Model, MIKE SHE, to Predict Streamflow at High Frequency in a Flashy Mountainous Hawaiian Stream. *J. Hydrol.*, 327 (1-2). pp. 94-109. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.11.012>
- Singh, R., Subramanian, K., Refsgaard, J.C. (1999).* Hydrological Water Balance Modelling of a Small Watershed Using MIKE SHE for Irrigation Planning. *Agric. Water Manag.*, 41 (3). pp. 149-166. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00022-0)
- Singh, V.P. (1995).* Computer Models of Watershed Hydrology. Rev. ed. Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO.
- Somlyódy L. (szerk.) (2011).* Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok. Magyar Tudományos Akadémia, Köztestületi Stratégiai Programok, Budapest.
- Stadnyk, T.A., Holmes T.L. (2023).* Large scale hydrologic and tracer aided modelling: A review, *Journal of Hydrology*, Volume 618, 129177, ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129177>
- Stisen, S., Jensen, K.H., Sandholt, I., Grimes, D.I.F. (2008).* A Remote Sensing Driven Distributed Hydrological Model of the Senegal River Basin. *J. Hydrol.*, 374 (1-4). pp. 131-148. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.03.006>
- Sun, G., Lu, J., McNulty, S.G., Vose, J.M., Amayta, D.M. (2006).* Using the hydrologic model MIKE SHE to assess disturbance impacts on watershed process and responses across the Southeastern U.S. In: Secondary Interagency Conference on Research in the Watersheds, May 16-18.

- Suttles, J.B., Vellidis, G., Bosch, D.D., Lowrance, R., Sheridan, J.M., Usery, E.L. (2003).* Watershed-Scale Simulation of Sediment and Nutrient Loads in Georgia Coastal Plain Streams Using the Annualized AGNPS Model. *Trans. ASAE*, 46 (5). pp. 1325-1335. <https://doi.org/10.13031/2013.15443>
- Tamás M., Fehér Z., Buday-Bódi E., Tamás J., Nagy A. (2023).* Modeling of soil moisture and water fluxes in a maize field for the optimization of irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 213, Article 108159. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108159>
- Tamás J., Kovács B., Bíró T. (2002).* Vízkészlet-modellzés. Debreceni Egyetem p. 200. ISBN 963-472-657-7.
- Tamás J., Nagy A. (2023).* A Tiszántúl területi integrált vízgyűjtőgazdálkodási problémáinak és megoldási lehetőségeinek azonosítása, a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) hatásterületén. *Hidrológiai Közlöny* 103/3. pp. 64-68.
- Thompson, J.R., Sorenson, H.R., Gavin, H., Refsgaard, A. (2004).* Application of the Coupled MIKE SHE/MIKE 11 Modelling System to Lowland Wet Grassland in Southeast England. *J. Hydrol.*, 293. pp. 151–179. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.017>
- TICAD SDSS (2012).* Tisa Catchment Area Development Spatial Decision Support System. Online elérhetőség: <http://www.terport.hu/vezercikkek/ticad-sdss-%E2%80%93-a-tervezes-uj-dimenzioja.html>
- Tisa Catchment Area Development Spatial Decision Support System (TICAD SDSS) (2012).* Online elérhetőség: <http://www.terport.hu/vezercikkek/ticad-sdss-%E2%80%93-a-tervezes-uj-dimenzioja.html>
- Tran, Q.H., Fehér, Z.Z., Túri, N., Rakonczai, J. (2022).* Climate Change as an Environmental Threat on the Central Plains of the Carpathian Basin Based on Regional Water Balances. *Geographica Pannonica* 18 (4). pp. 567-599. <https://doi.org/10.5937/gp26-37271>
- Tran, Q.H. (2023).* Kisvízgyűjtők vízmérlegének változása a várható klímaváltozás következtében az Alföldön. PhD értekezés, SZTE.
- Yan, J., Zhang, J. (2005).* Evaluation of the MIKE SHE Modelling System. <http://s1004.okstate.edu/S1004/Regional-Bulletins/Modeling-Bulletin/MIKESHEfinal>.
- Yuan, Y., Bingner, R.L. and Rebich, R.A. (2002).* Application of AnnAGNPS for Analysis of Nitrogen Loadings from a Small Agricultural Watershed in the Mississippi Delta. Total Maximum Daily Load (TMDL) Environmental Regulations. In Gassmann, P.W. (ed). ASAE Publication No. 701P0102. *Proc. Watershed Management to Meet Water Quality Standards and Emerging TMDL (Total Maximum Daily Load)*. pp. 268-279. ASAE, Forth Worth, Texas, USA. <https://doi.org/10.13031/2013.7568>
- van Delden, H., Seppelt, R., White, R., Jakeman, A.J. (2011).* A methodology for the design and development of integrated models for policy support, *Environmental Modelling & Software*, Volume 26, Issue 3. pp. 266-279. ISSN 1364-8152, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.021>
- van den Bout, B., Jetten V. (2020).* Catchment-scale hydrology simulations using inter-variable multi-parameter terrain descriptions, *Journal of Hydrology*, Volume 589, 125118, ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125118>.
- van Leeuwen B., Právetz T., Liptay Z. Á., Tobak Z. (2016).* Physically based hydrological modelling of inland excess water. *Carpathian Journal of Earth and Environmental sciences*, 11 (2). pp. 497-510. ISSN 1842-4090
- Virágné Kőházi-Kiss E., Fejes L. (2016).* A Tisza-tó szerepe az aszály mérséklésében. Budapest, XXXIV. Országos Vándorgyűlés konferencia kiadványa, Online elérhetőség: www.hidrologia.hu/vandorgyules/34/dolgozatok/word/0329_viragne_kohazi_kiss_edit.pdf
- Virágné Kőházi-Kiss E. (szerk.) (2017).* KÖTIVIZIG öntözésfejlesztési stratégiája I. kötet 1744/2017. (X.17.) Kormányhatározat 3. pont. *Aquarex. Szolnok*. 173. online elérhető: https://kotiweb.vizugy.hu/on-tozesfejlesztis/doksik/kotivizig_on-tozesfejlesztis_strategiaja_1_kotet.pdf
- VGT3 (2021).* Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 3. Online elérhetőség: https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2022/05/VGT3_elfogadott_fuggelekek.zip
- Vizi D.B. (2020).* Felszín alatti beáramlás hatása a Tisza vízminőségére a Közép-Tisza vidékén. *Műszaki Katonai Közlöny*, 30. évfolyam (2020) 2. szám. <https://doi.org/10.32562/mkk.2020.2.1>
- Wani, O., Scheidegger, A., Cecinati, F., Espadas, G., Rieckermann J. (2019).* Exploring a copula-based alternative to additive error models—for non-negative and autocorrelated time series in hydrology, *Journal of Hydrology*, Volume 575. pp. 1031-1040, ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.006>
- Williams, J.R. (1995).* The EPIC Model. In Singh, V.P. (ed). *Computer Models of Watershed Hydrology*. pp. 909-1000. Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO.
- Zölch, T., Henze, L., Keilholz, P., Pauleit, S. (2017).* Regulating urban surface runoff through nature-based solutions – An assessment at the micro-scale, *Environmental Research*, Volume 157. pp. 135-144, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.023>.

A SZERZŐK

PÁSZTOR DÁVID a Debreceni Egyetem Víz-és Környezetgazdálkodási Intézetének PhD hallgatója, Szakterület: Hidrológiai modellezés és térinformatika. 2022 óta a Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola hallgatója, Kutatás: Öntözőrendszerek regionális optimalizálása, Képzettségek: BSc Mezőgazdasági mérnöki, MSc Mezőgazdasági vízgazdálkodási mérnöki, 2022-ben Magyar Öntözési Egyesület Öntözési Különdíjának 1. helyezése MSc kategóriában, 2023-ban a 36. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Agrárműszaki Tagozatában 3. helyezése. 2023 óta tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.



FEHÉR ZSOLT ZOLTÁN, PhD. 2021-től a Debreceni Egyetem Víz-és Környezetgazdálkodási Intézetének adjunktusa. Tanulmányait a Szegedi Tudományegyetemen folytatta, okleveles geográfus, 2019-ben doktori fokozatot szerzett, disszertációjának címe: A Dél-Alföld talajvíz idősorainak nagy léptékű, geostatisztikai alapú modellezése: Két megközelítés a nem folytonos monitoring adatok együttes térbeli és időbeli szimulációjára. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja 2021 óta. Az International Association for Mathematical Geography hazai hallgatói szervezetének alapító tagja, az European Geography for Young Geographers tudományos bizottságának korábbi titkára. Az European Institute for Technology klímainnovációs díjazottja, a Climate KIC klímainnovációs alumni tagja. 2022 óta tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.



TAMÁS JÁNOS a Debreceni Egyetem Víz-és Környezetgazdálkodási Intézetének igazgatója; agrármérnök, agrokémiai, vízgazdálkodási és térinformatikai szakmérnök. 2007-ben megkapta a Magyar Tudományos Akadémia Doktora címet. Elismerései: Az év publikációja díj, Környezetért díj, Sajó Elemér vízgazdálkodásért díj, Hatvani professzori kutatási díj, Magyar Köztársaság Lovagkeresztje. Publikációinak száma közel 500, tankönyvek száma 16. Több szakkönyvet jegyzett a precíziós mezőgazdaság és a vízgazdálkodás területén. Szűkebb szakterülete a talaj és a környezet állapotának modellezése térinformatikai és távérzékelési eszközökkel. A Magyar Hidrológiai Társaság és a Hidrológiai Közlöny szerkesztőbizottságának 2015 óta tagja.



*A 2022-es aszályos év hatása a kukoricatáblára (Fotó: Getty Images)
The impact of the 2022 drought year on the corn field (Photo: Getty Images)*

A balatonvíz sótartalmának hosszútávú változása (1891-2022)

Vörös Lajos^{1,2}, Tóth György István³, Látrányi-Lovász Zsófia⁴, Somogyi Boglárka^{1,2}

¹ HUN-REN Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, 8237, Tihany, Klebelsberg K. u. 3. (e-mail: voros.lajos@blki.hu, somogyi.boglarka@blki.hu)

² Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, HUN-REN Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, 8237, Tihany, Klebelsberg K. u. 3. (e-mail: voros.lajos@blki.hu, somogyi.boglarka@blki.hu)

³ Országos Vízügyi Főigazgatóság, 1012 Budapest, Márvány u. 1/d. (e-mail: toth.gyorgy.istvan@ovf.hu)

⁴ Kis-Balaton Üzemeltetés Keszthely, Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 8360 Keszthely, Csík Ferenc sétány 4. (e-mail: lovasz.zsafia@nyuduvizig.hu)

DOI: 10.59258/hk.16462



Kivonat

A Balaton szalinitásáról az első, az egész tóra kiterjedő elemzés 1891-ből Ilosvay Lajostól származik. A tizenkilencedik századi úttörő munkákat a Magyar Biológiai Kutatóintézet (mai nevén HUN-REN Balatoni Limnológiai Kutatóintézet) 1927. évi megnyitását követően modern analitikai módszerekkel végzett nagyobb tér- és időbeli felbontású mérések követték. A rendszeres és napjainkban is folyó monitoring az 1970-es években kezdődött a területileg illetékes vízügyi igazgatóságok, majd a környezetvédelmi felügyelőségek és legújabbban a megyei kormányhivatali laboratóriumoknak köszönhetően. A jelen tanulmány arra tesz kísérletet, hogy átfogó képet adjon a balatonvíz sótartalmának több mint egy évszázadot átívelő változásáról. Eredményeink szerint az összes ion koncentráció a tó egész területén a történelmi háttérnek tekinthető 450 mg/l értékről napjainkra 620-690 mg/l körülire nőtt. Eszerint a Balaton egészen az 1980-as évek elejéig édesvízű tó volt, de ma már édes-sós átmeneti víz. Az utóbbi fél évszázad folyamán a magnézium-ion koncentráció 0,7 mg/l, a nátrium-ion 0,6 mg/l, a klorid-ion 0,7 mg/l, a szulfát-ion 1,8 mg/l, a hidrogénkarbonát- és a karbonát-ion pedig 1,0 mg/l értékkel növekedett évente. Az összes ion koncentráció éves növekedése az 1970-es évektől kezdődően a Keszthelyi-medencében 4,2 mg/l, a Siófoki-medencében 5,0 mg/l volt. A fő ionok közül egyedül a kalcium-ion koncentráció nem változott a mérések kezdete óta, mert a Balatonban jelentős mértékű kalcit kiválás következik be, aminek következtében a befolyó vizek kalcium koncentrációja kevesebb mint felére csökken, és ez a folyamat a tavon belül is folytatódik nyugatról keletre haladva. A 2010 - 2022 évek vízmérlege, valamint a befolyó vizek átlagos kalcium-ion koncentrációi és a tóból távozó víz átlagos kalcium-ion koncentrációja közötti különbségek alapján a tóban kicsapódó kalcit mennyiség évente jelentősen különbözött, a legkisebb 25 ezer tonna/év, a maximum 125 ezer tonna/év volt, átlagosan pedig 75 ezer tonna/évnek adódott.

Kulcsszavak

Salinizáció, hosszútávú adatok, édes-sós átmeneti víztípus, ionösszetétel változás, kalcit kiválás.

Long term changes of salinity in Lake Balaton (1891-2022)

Abstract

The first comprehensive analysis of water chemistry of Lake Balaton was performed by Lajos Ilosvay in 1891. The pioneering works of the nineteenth century were followed by more modern analytical methods, involving larger spatial and temporal resolutions, carried out by the Hungarian Biological Research Institute (nowadays known as the HUN-REN Balaton Limnological Research Institute) after its opening in 1927. The regular and ongoing monitoring, which continues to this day, began in the 1970s thanks to the relevant water management authorities and government laboratories. This study aims to provide a comprehensive overview of over a century of changes in the salinity of Lake Balaton. According to our results, the concentration of total ion concentration has increased from the historical background level of 450 mg/l to around 620-690 mg/l in recent times. According to this, Lake Balaton was a freshwater lake until the early 1980s, but today it has become a hyposaline water. Over the last half-century, the concentration of magnesium ions increased by 0.7 mg/l, sodium ions by 0.6 mg/l, chloride ions by 0.7 mg/l, sulphate ions by 1.8 mg/l, and bicarbonate and carbonate ions by 1.0 mg/l annually. The annual increase in the concentration of all ions has been 4.2 mg/l in the Keszthely basin and 5.0 mg/l in the Siófok basin since the 1970s. Among the major ions, only the concentration of calcium ions has not changed since the beginning of the measurements. This is because significant calcite precipitation occurs in Lake Balaton, causing the calcium concentration of inflowing waters to decrease by less than half. This process continues within the lake from west to east. Based on the differences between the water balance from 2010 to 2022, the average calcium ion concentrations of inflowing waters, and the average calcium ion concentration of the outflowing water, there were significant annual variations in the amount of calcite precipitation in the lake. The minimum was 25 000 tons/year, the maximum was 125 000 tons/year, with an average of 75 000 tons/year.

Keywords

Salinization, long-term data, fresh-saline transitional water type, ion composition change, calcite precipitation.

BEVEZETÉS

A természetes vizek szalinitása

A természetes vizek tulajdonképpen sóoldatok, „s ahol víz van ott élet is van” (*Sebestyén 1963*). Egy víztest szalinitása (sótartalma) az összes ionos összetevő mennyiségét jelenti, amelyet „az élővilág csak kivételes esetben ala-

kít, általában alkalmazkodik hozzá” (*Felföldy 1987*). A vizek ionösszetételét a gyakorlatban kielégítően lehet jellemezni a négy fő kation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) és a négy fő anion (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-) koncentrációjával. A többi gyakori elem, mint a N, P, Fe és számos mikroelem ionos komponensei biológiai/ökológiai szempontból jelentősek

lehetnek, de az esetek túlnyomó hányadában összes sótartalomhoz való hozzájárulásuk kicsi (Wetzel 1983). A szalinitást három fő tényező szabályozza: a vízgyűjtő terület geokémiai sajátosságai, a csapadék kemizmusa, a párolgás/kicsapódás mértéke és viszonya a tómederben. Lefolyással bíró tavakban a víz kémiai összetevői a vízgyűjtő területről való hozzáfolyásból és a légkörből származnak. Lefolyástalan tavakban felszín alatti hozzáfolyás, a párolgás és a sókiválás van jelentős hatással az ionkoncentrációra és összetételre. A sekély tavak sótartalma dinamikusan változhat, kiszáradhatnak, ekkor sóvesztés történhet amiatt, hogy a kicsapódott sókat a szél kifújja a mederből.

A szalinitást az összes anion és kation koncentrációval jellemzik, és mg/l vagy meq/l egységben fejezik ki. Az összes oldott anyag, mint párlási maradék meghatározása 105 Celsius fokon gyakran alkalmazott módszer a sótartalom jellemzésére, de kevésbé pontos és informatív, mint az ionkoncentrációk mérése. A fajlagos elektromos vezetőképeség mértéke a legszélesebb körben elterjedt helyettesítője/kifejezője a szalinitásnak. Értéke függ az adott sóoldat (természetes víz) ionösszetételétől, koncentrációjától és a hőmérséklettől. Ezzel együtt azonos, vagy hasonló vegyi összetételű vizek esetén szoros összefüggésben van az összes ion koncentráció mértékével (Hammer 1986, Williams 1998, Wetzel 1983).

Minden kontinentális víz tartalmaz több-kevesebb oldott sót. Hammer (1986) széleskörűen elfogadott kategorizálása szerint édesvizekben az összes sótartalom kevesebb, mint 500 mg/l, szubszalin vizekben 500-3000 mg/l. A 3000 mg/liternél magasabb összes ion tartalmú vizek a sósvizek (Hammer 1986, Williams 1998). Felföldy (1987) osztályozási rendszere szerint az édesvíz kategória felső határa 600 mg/l.

A szalinitást jellemző négy fő kation és anion két csoportra osztható. A konzervatív ionok koncentrációja egy taven belül csak kismértékben van alávetve biotikus hatásoknak, miközben a dinamikus ionok koncentrációját a vízi élővilág metabolizmusa jelentősen befolyásolja (Wetzel 1983). A fő kationok közül a magnézium-, a nátrium- és a kálium-ion konzervatív viselkedésű, miközben a kalcium-ion koncentrációját jelentős mértékben befolyásolja a vízi flóra és fauna élettevékenysége. Kemény vizekben (ilyen a Balaton is) a kalcium koncentráció szezonálisan jelentős mértékben változhat, elsősorban az algák és a hínárnövények fotoszintézise eredményeként bekövetkező CaCO_3 kicsapódás (biogén mészkőkiválás) miatt, ami együtt jár más tápelemek, pl. a foszfor együttes kiválásával (House 1990, Hamilton és társai 2009). A vízben oldatban lévő szervesetlen szénformák (CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , CaCO_3) aránya pH függő, és mivel ezek mindegyike hozzáférhető az algák és a vízínövények számára, a HCO_3^- és a CO_3^{2-} a dinamikusan változó ionok közé tartozik. A szulfát-ion számos mikrobiológiai folyamatban jelentős szerepet játszik, ezért a dinamikus ionok közé sorolják. Aerob körülmények között az algák és vízínövények kénfelvétele nem befolyásolja számottevően a koncentrációját, ezért nagy tömegű és kiterjedésű nyíltvízben a szulfát-ion mennyisége viszonylag stabil, szulfát csapadék kiválás a

Balatonban sem következik be. A klorid-ion a nátrium- és kálium-ionhoz hasonlóan az állandó vizű tavakban nem mutat számottevő tér- és időbeli dinamikát, ezért felszíni vizekben ez a három ion tekinthető a legkonzervatívabb viselkedésűnek.

A szalinizáció, mint világprobléma

A vizek ion koncentrációjának növekedése a földtörténet folyamán számos esetben természetes módon is bekövetkezett, amit elsődleges szalinizációnak is neveznek, szemben az emberi hatásra bekövetkezett, úgynevezett másodlagos szalinizációval, amely néhány évtized alatt vagy némely esetben ennél gyorsabban is végbe mehet (Herbert és társai 2015).

Az édesvizek sótartalmának növekedése a 21. század első évtizedeiben került az érdeklődés homlokterébe, amikor egyértelművé vált, hogy nemcsak az arid klímájú területeken jelentkezik, hanem egy növekvő globális probléma, amely hat az ivóvíz ellátásra, az ökoszisztémák állapotára, a biodiverzitásra, a vízügyi infrastruktúra állapotára (Kaushal és társai 2021). A szalinizáció humán hatásra bekövetkező kiváltó okai ismertek. Mediterrán klímájú területeken a fás vegetáció gyérítése, az intenzív öntözés és a vizek elterelése a folyamat elsődleges kiváltó oka. Emellett globális mértékben jelentkezik a bányászat, a kőolaj- és gázkitermelés, az utak sózása, a műtrágyahasználat, a tájhasználat változása következtében (Kaushal és társai 2005, 2021, Herbert és társai 2015, Zak és társai 2021). A városiasodás, a kommunális és ipari szennyvízkibocsátás, beépített, lefedett terület növekedése a vízgyűjtő területen szignifikánsan növeli az iontranszportot, többek között az építési anyagok korróziója, az utak sózása és a szennyvízkibocsátás következtében (Kaushal és társai 2017, Scott és társai 2019). A növekvő szalinizáció hatásait az éghajlatváltozás tovább erősíti (Le és társai 2018).

Az édesvizek szalinizációjára a huszadik század második felében a kutatók, a környezetvédők és a menedzserek kevés figyelmet szenteltek, annak ellenére, hogy sokasodtak ennek a világméretű problémának a jelei, igaz, elsősorban a száraz és félszáraz klímájú területeken (Williams 2001). Ennek a mérsékelt érdeklődésnek háttérében az állt, hogy olyan problémák, mint az eutrofizáció, vagy a mezőgazdasági eredetű peszticid szennyezés, illetve az ipari eredetű nehézfém szennyezés akut és súlyos problémaként jelentkezett világszerte (Canedo-Arguelles 2020).

A Balaton esetében sem volt ez másként. A fő ionok mellőzésének elsődleges oka a Balaton gyorsan bekövetkezett eutrofizálódása volt. A fonalas nitrogénkötő cianobaktériumok tömegtermelése a tó nyugati területein súlyosan veszélyeztette a víz fürdésre, üdülésre való alkalmasságát és az ivóvízkivételeket is (Herodek 1983), ami jelentős kutatási aktivitást generált, és elsősorban a foszforanyagcsere megismerése révén (Herodek és Istvánovics 1988, Istvánovics és társai 1986, Somlyódy és van Straten 1986) elvezetett a probléma orvoslásához, a jelentős vízminőségvédelmi beruházások megvalósításához. A világszerte folyó intenzív nehézfém kutatásból a Balaton sem

maradt ki (*Salánki és társai 1982, V-Balogh 1986, V-Balogh és Salánki 1986*), amelynek alapján szerencsére megállapítást nyert, hogy a vizsgált toxikus nehézfémek koncentrációi sem a vízben, sem a biótában nem haladták meg az egészségügyi határértékeket.

A Balatonvíz vegyi jellemzőinek kutatása

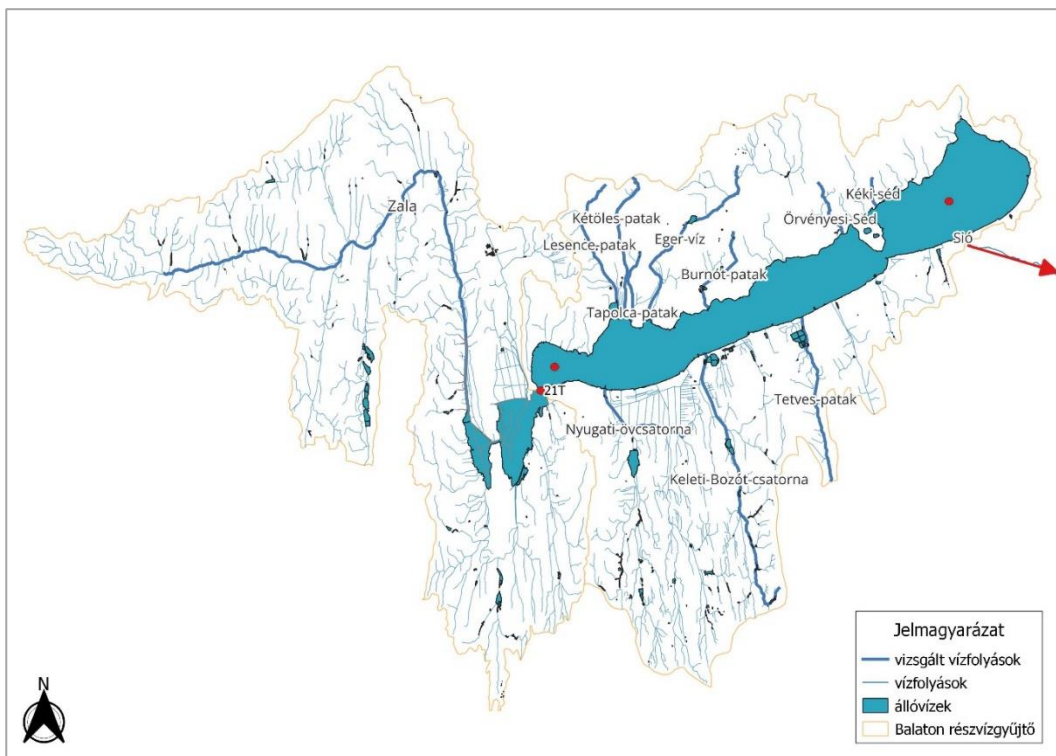
A Balaton vegyi jellemzőiről első ízben Kitaibel tesz említést, miszerint „a besűrített víz barnás-sárga, hígított ó-bor színű, kevés fehér csapadék válik ki belőle, sós-lúgos ízű, s a sárga kémpapírt gesztenye-barnára, a vöröset kékre változtatja (*Kitaibel 1829*). Az első, valóban kémiai tekinthető elemzés 1837-ből Sigmund Károlytól származik, de az általa közölt értékeket a későbbi elemzések nem erősítették meg (*Ilosvay 1898*). Az egy-egy vízmintára kiterjedő kvantitatív vizsgálatokat Preysz végzett 1862-ben, illetve Szilasi 1885-ben (*Ilosvay 1898*). Ezt követően az első, az egész tóra és a fő ionokra kiterjedő elemzés Ilosvay Lajostól származik, aki a méréseket 1891-ben 20 liter víz párlási maradékából végezte el (*Ilosvay 1898*). A tizenkilencedik századi úttörő munkákat a Magyar Biológiai Kutatóintézet (mai nevén Balatoni Limnológiai Kutatóintézet) 1927. évi megnyitását követően modern analitikai módszerekkel végzett, nagyobb tér- és időbeli felbontású és napjainkig tartó, többé-kevésbé rendszeres mérések követték. Ezeket az első, még az alapvető ismereteket lefedtető vizsgálatokat (*Müller 1929, Szabó 1930, Csegezy 1938*) követte Entz Béla munkássága, aki a tó egész területére kiterjedő mérések mellett vizsgálta a tavat tápláló vízfolyásokat is (*Entz 1952, 1953, 1959*). A Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet (VITUKI) bekapcsolódása a Balaton kutatásába további lendületet adott a munkának, Pásztó Péter 1957-1960 között végzett nagyszámú mérést a tavon (*Pásztó 1963*), ezt követően 1969-1979 között is számos vizsgálat köthető a VITUKI tevékenységéhez (*Németh és Pásztó 1976, Dobolyi és társai 1980*). 1975-től kezdve a területileg illetékes vízügyi igazgatóságok (Dél-Közép- és Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság), majd a környezetvédelmi felügyelőségek laboratóriumai és legújabban a VKI monitoring keretében a megyei kormányhivatali laboratóriumok az egész tóra és a tavat tápláló vízfolyásokra kiterjedően végeznek sokrétű vízminőség vizsgálatot, amelynek részét képezi a nyolc fő ion koncentrációjának meghatározása is.

Ennek a gazdag tudományos háttérnek köszönhetően a Balaton sótartalmának növekedését a VITUKI kutatói már 1979-ben felismerték, megállapították, hogy a vízben található összes szervetlen ion koncentrációja a hatvanas évek végétől emelkedő tendenciát mutat, amit a tó környezetének erőteljesebb emberi igénybevételével, az emberi hatások fokozott növekedésével magyaráztak (*Dobolyi és társai 1980*). Virág 1998-ban balatoni adatok elemzésével

megállapította, hogy 1969 és 1995 között jelentősen megnőtt a víz elektromos vezetőképessége, a szulfát- és kloridionok töménysége növekvő tendenciát mutatott. Véleménye szerint „a balatonvíz fő ionjai koncentrációváltozására az utóbbi évtizedekben kevés figyelmet fordítottak, pedig ezeknek az ionoknak a mennyisége is ugyanolyan jelzőszámokat jelent a tóvíz minőségének alakulása szempontjából, mint más vegyületek” (*Virág 1998*). E korai felismeréseket követően azonban mindmáig nem született átfogó elemzés a Balaton sótartalmának változásáról. A jelen tanulmányban arra teszünk kísérletet, hogy ennek a sokszereplős és sok évtizede folyó munkának az eredményeire támaszkodva átfogó képet rajzoljunk a balatonvíz kémiai viszonyainak több mint egy évszázadot átívelő változásáról.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A Balaton sótartalmának hosszútávú változásai elemzésénél a Keszthelyi- és a Siófoki-medence adataira szorítkoztunk. A változások értékeléséhez felhasználtuk a publikált kutatási eredményeket, elsőként Ilosvay 1891-ben végzett négy mérést a Keszthelyi- és a Siófoki-medencéből (*Ilosvay 1898*), majd Müller (1927), Szabó (1929) és Csegezy (1938) Tihany térségéből származó mérési adatait. Entz 1950 és 1958 között az egész tóra és a befolyó vizekre is kiterjedő méréseiből a Keszthelyi-medencére és a Siófoki-medencére vonatkozó adatokat vettük figyelembe (*Entz 1952, 1959*), Pásztó részletes tanulmányából az 1957, 1958, 1959 és 1960-ból közölt adatokat (*Pásztó 1963*) és a VITUKI mérési eredményeit (*Németh és Pásztó 1976, Dobolyi és társai 1980*). Ezeket az úttörő jellegű méréseket 1975-től felváltotta egy rendszeres, az egész tóra kiterjedő monitoring, amelynek a Siófoki-medence és a Keszthelyi-medence nyíltvizére vonatkozó adatait az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) bocsátotta rendelkezésünkre. A Zala torkolati szelvényére vonatkozó adatsorok (1975-2021) a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság mérésein alapulnak, a többi befolyó víz adatai az OVF adatbázisából származnak. Elemzésünkben bemutatjuk az 1975-ös rendszeres monitorozás előtti mérési eredményeket, az ezt követő időszakot az évente négy-huszonöt alkalommal végzett mérések átlagértékeivel jellemezzük, utóbbiak képezik a trendszámítások alapját is. A balatoni mintavételi helyszíneket (Siófoki- és Keszthelyi-medence), a tó nyugati vízgyűjtő területét reprezentáló Kis-Balatoni Vízügyi Rendszer (KBVR) balatoni torkolatát (21T), a tó déli vízgyűjtőjéről eredő Nyugati-övesatorna, Keleti-Bozót-patak és a Tetves-patak, az északi vízgyűjtőről eredő Lesence-patak, Tapolca-patak, Kétöles-patak, Eger-víz, Burnót-patak és a Kéki-patak torkolati szelvényeit a tó vízgyűjtő területével egyetemben az 1. ábrán tüntettük fel. A tó vízgyűjtőjén található felszín alatti vízminőségi megfigyelő kutak (összesen mintegy 3500 kút) ionösszetétel adatait az OVF bocsátotta rendelkezésünkre.



1. ábra. Vízkémiai mérésekhez kijelölt mintavételi helyek a Balatonon és vízgyűjtőjén (Piros pontok: KBVR torkolat (21T), Keszthelyi-medence, Siófoki-medence. A befolyó patakok mintavételi pontjai a torkolati szelvényénél találhatóak.)

Figure 1. Sampling locations for water chemistry measurements on Lake Balaton and its watershed (Red dots: KBVR outlet (21T), Keszthely basin, Siófok basin. The sampling points of the inflowing streams are located at the river mouth.)

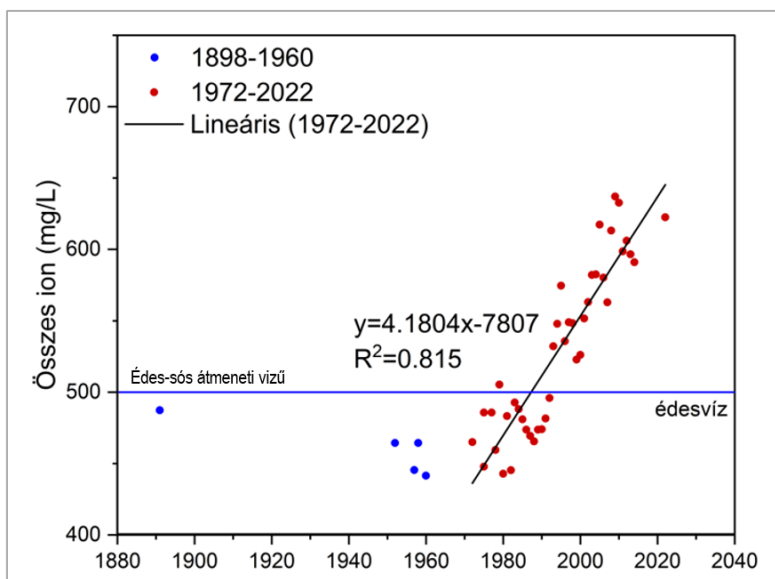
EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Időbeli változások a Balatonban

A rendelkezésre álló nagyszámú, a rendszeres vizsgálatokból származó mérési adat alapján megállapítottuk, hogy a Balatonban 400-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vezetőképesség tartományban a sótartalom (mg/l) = 0,85 x elektromos vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Szikes tavakban 3 000-30 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ elektromos vezetőképesség tartományban a sótartalom (mg/l) = 0,80 x elektromos vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Bo-

ros és társai 2014). Balatoni adataink szerint az összes oldott anyag (párlási maradék) és az összes ion koncentráció között nincs szoros összefüggés és ráadásul az egyenes meredeksége is különböző az egyes medencékben.

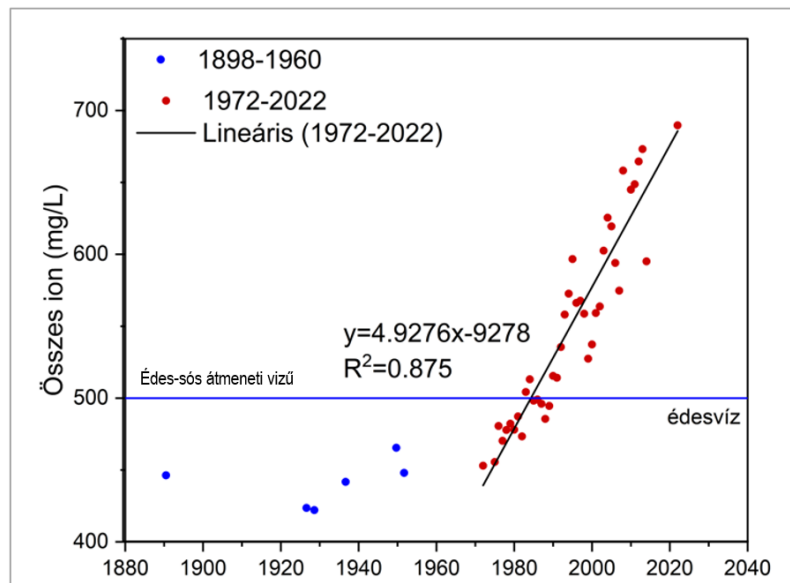
Az összes ion koncentráció a Keszthelyi-medencében a 19. század végétől egészen az 1970-es évek elejéig a történeti adatok tanúsága szerint érdemben nem változott, 450 mg/l körüli volt. A hetvenes évektől kezdődően koncentrációja folyamatosan és tendenciózus nőtt, évente 4,2 mg/l értékkel (2. ábra).



2. ábra. Az összes ion koncentráció változása a Keszthelyi-medencében 1891-2022 között
Figure 2. The changes of total ion concentration in the Keszthely basin between 1891 and 2022

A Siófoki-medencében a változás tendenciája közel azonos volt, a történelmi háttérnek tekinthető 450 mg/l érték

a hetvenes évek elejétől szignifikáns, évi 5,0 mg/l körüli növekedést mutatott (3. ábra).



3. ábra. Az összes ion koncentráció változása a Siófoki-medencében 1891-2022 között
Figure 3. The changes of total ion concentration in the Siófok basin between 1891 and 2022

Az összes ion koncentrációban belül az egyes ionok változása jelentős mértékben eltért. A kationok közül a Mg-, Na- és K-ion koncentrációja szignifikánsan nőtt 1972 és 2022 között, ezzel ellentétben a Ca-ion koncentráció nem

mutatott szignifikáns időbeli trendet sem a Keszthelyi-, sem a Siófoki-medencében. Mindegyik anion koncentrációja szignifikáns időbeli növekedést mutatott 1972 és 2022 között mindkét tóterületen (1. és 2. táblázat).

1. táblázat. A fő ionok és az összes ion koncentráció éves növekedése (mg/l) 1972 és 2022 között a Keszthelyi-medencében
Table 1. The annual growth of major ions and total ion concentrations (mg/l) between 1972 and 2022 in the Keszthely basin

Ion	mg/l	r ²	p
Ca ²⁺	0,101	0,046	nem szignifikáns
Mg ²⁺	0,537	0,739	< 0.0001
Na ⁺	0,465	0,735	< 0.0001
K ⁺	0,047	0,426	< 0.0001
Cl ⁻	0,467	0,801	< 0.0001
SO ₄ ²⁻	1,589	0,675	< 0.0001
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ²⁻	1,612	0,600	< 0.0001
Összes ion	4,180	0,819	< 0.0001

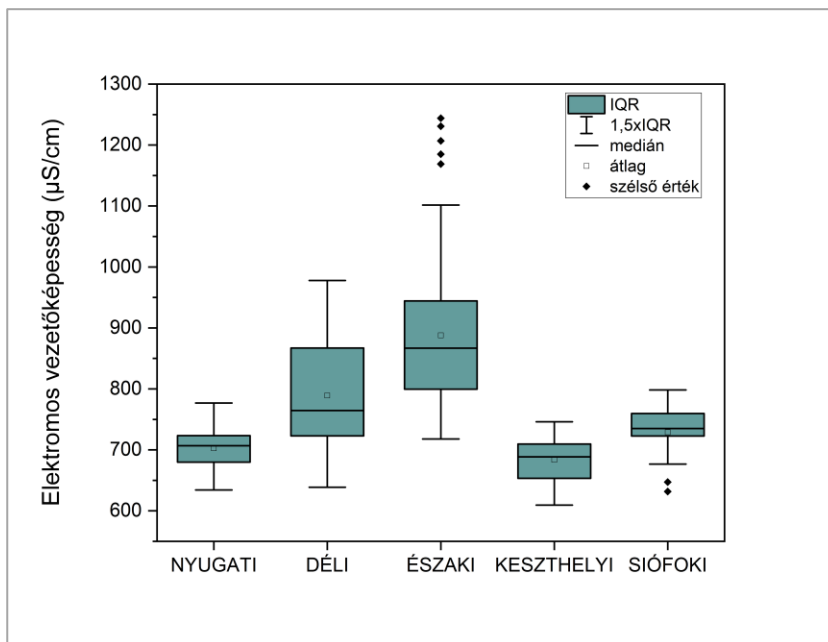
2. táblázat. A fő ionok és az összes ion koncentráció éves növekedése (mg/l) 1972 és 2022 között a Siófoki-medencében
Table 2. The annual growth of major ions and total ion concentration (mg/l) between 1972 and 2022 in the Siófok basin

Ion	mg/l	r ²	p
Ca ²⁺	0,029	0,019	nem szignifikáns
Mg ²⁺	0,701	0,842	< 0.0001
Na ⁺	0,620	0,837	< 0.0001
K ⁺	0,075	0,696	< 0.0001
Cl ⁻	0,670	0,890	< 0.0001
SO ₄ ²⁻	1,792	0,821	< 0.0001
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ²⁻	1,074	0,444	< 0.0001
Összes ion	4,952	0,877	< 0.0001

A befolyó vizek hatása

A Balatonba torkolló vízfolyások hatását a 2010-2022 évek adatai alapján ismertettük. A Balaton legnagyobb részvízgyűjtőjéről (Zala vízgyűjtő) származó vizek a 21T jelű műtárgyon keresztül folynak be a tóba (1. ábra), itt érkezik a tó vízutánpótlásnak közel fele a mindössze 38 km² kiterjedésű Keszthelyi-medencébe. A fajlagos elekt-

romos vezetőképesség átlagos értéke a részvízgyűjtők közül itt a legkisebb, ezt kismértékben meghaladják a déli vízgyűjtőről származó vizek, az északi vízgyűjtő vizeinek szalinitása pedig kimagasló értékeket mutat. A Keszthelyi-medencében a vezetőképesség kissé alacsonyabb, mint a nyugati vízgyűjtőről befolyó vízben, a Siófoki-medencében a tóvíz sókoncentrációja kissé megnő (4. ábra).



4. ábra. A nyugati, a déli és az északi vízgyűjtő vízfolyásainak, valamint a Keszthelyi- és a Siófoki-medence vízének elektromos vezetőképessége (2010-2022 évek adatai)

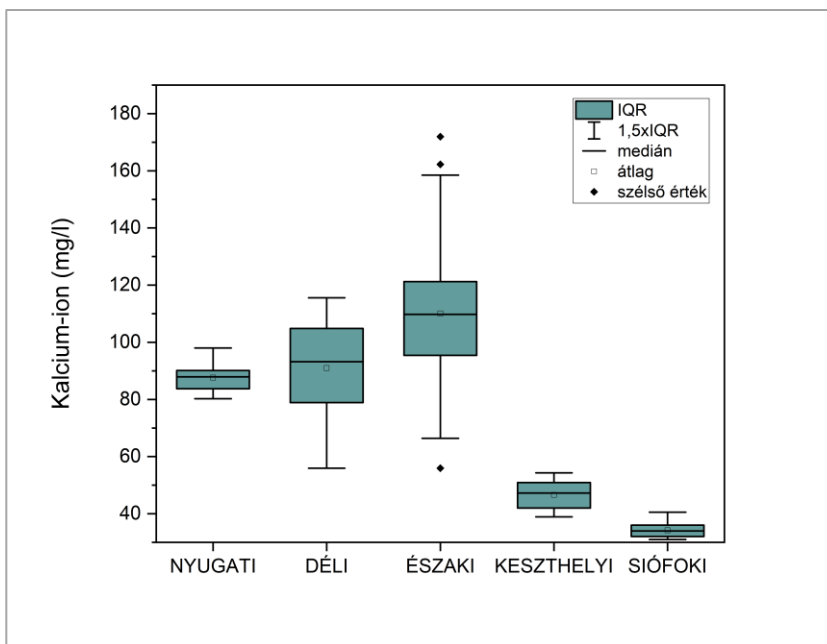
Megjegyzés: IQR – interkvartilis terjedelem

Figure 4. The electrical conductivity of the western, southern, and northern watershed rivers, as well as the water in the Keszthely and Siófok basins (data for the years 2010-2022)

Note: IQR – interquartile range

A kalcium-ion koncentráció a részvízgyűjtők között a vezetőképességgel arányosan változik, azonban a tóban nagyon markáns változás következik be. A Keszthelyi-me-

dencében a kalcium-ion koncentráció fele-harmada a befolyó víznek és értéke a Siófoki-medencében tovább csökken (5. ábra).



5. ábra. A nyugati, a déli és az északi vízgyűjtő vízfolyásainak, valamint a Keszthelyi- és a Siófoki-medence vízének kalcium-ion koncentrációja (2010-2022 évek adatai)

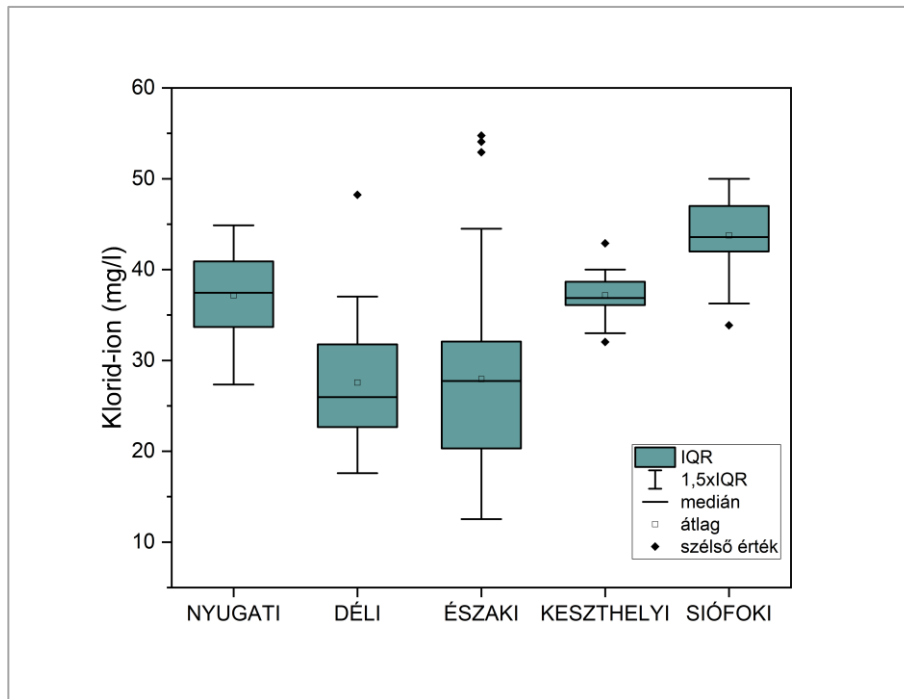
Megjegyzés: IQR – interkvartilis terjedelem

Figure 5. The calcium-ion concentration in the water of the western, southern, and northern watershed rivers, as well as the water in the Keszthely and Siófok basins (data for the years 2010-2022)

Note: IQR – interquartile range

A Keszthelyi-medencében a klorid-ion koncentráció megegyezik a befolyó Zala vízzel, a déli és az északi víz-

gyűjtőről származó vizek klorid-ionban szegényebbek (6. ábra).



6. ábra. A nyugati, a déli és az északi vízgyűjtő vízfolyásainak, valamint a Keszthelyi- és a Siófoki-medence vízének klorid-ion koncentrációja (2010-2022 évek adatai)

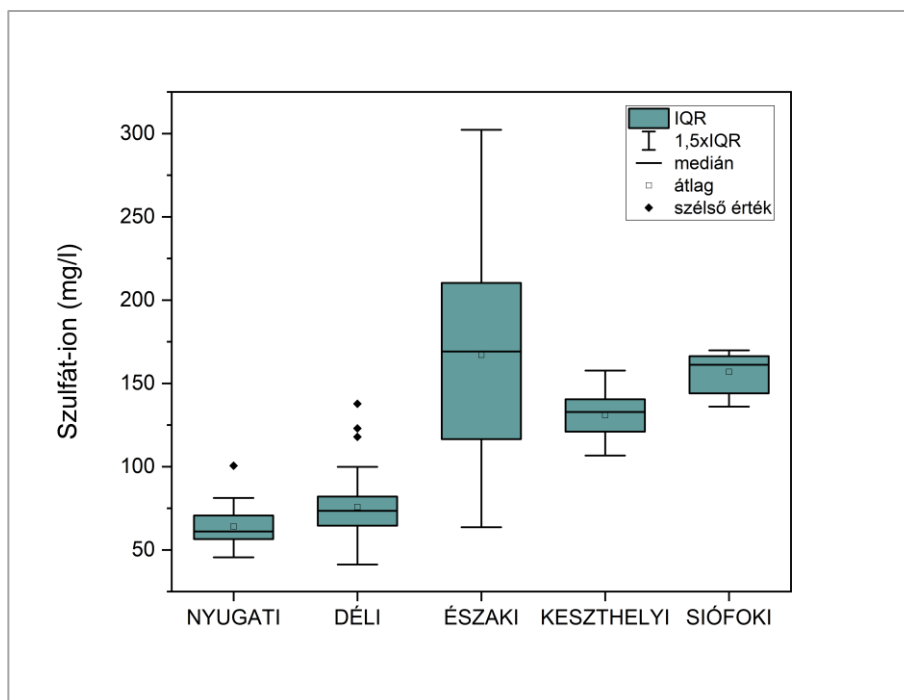
Megjegyzés: IQR – interkvartilis terjedelem

Figure 6. The chloride-ion concentration in the water of the western, southern, and northern watershed rivers, as well as the Keszthely and Siófok basins (data for the years 2010-2022)

Note: IQR – interquartile range

A szulfát-ion koncentráció ezzel ellentétesen változik, legalacsonyabb a Zala vízgyűjtőről származó vízben és jelentősen nagyobb az északi befolyókban, ami hatással van

a tó egész területére (7. ábra). Az északi vízgyűjtő szulfát gazdagsága megmutatkozik a felszín alatti vizek szulfát-ion koncentráció értékeiben is (8. ábra).

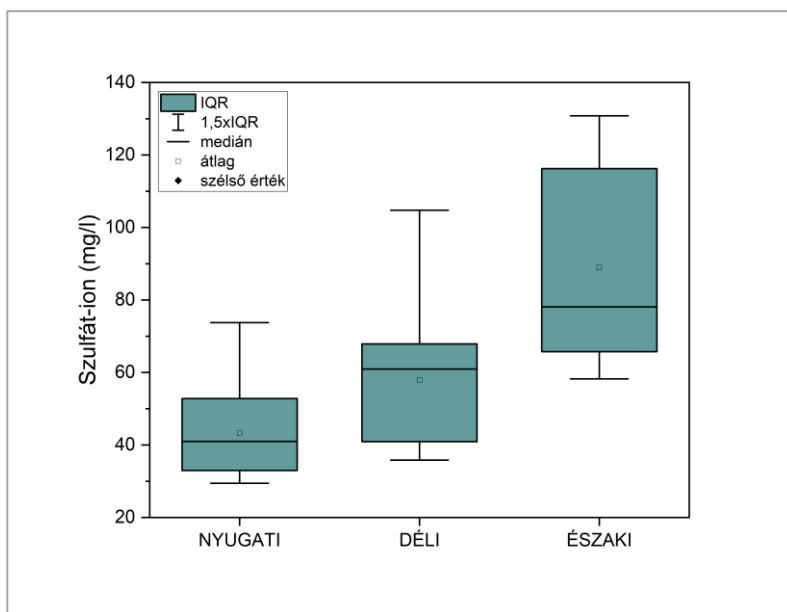


7. ábra. A nyugati, a déli és az északi vízgyűjtő vízfolyásainak, valamint a Keszthelyi- és a Siófoki-medence vízének szulfát-ion koncentrációja (2010-2022 évek adatai)

Megjegyzés: IQR – interkvartilis terjedelem

Figure 7. The sulphate-ion concentration in the water of the western, southern, and northern watershed rivers, as well as the Keszthely and Siófok basins (data for the years 2010-2022)

Note: IQR – interquartile range



8. ábra. A nyugati, a déli és az északi vízgyűjtő felszín alatti vizeinek szulfát-ion koncentrációja (2010-2022 évek adatai) Megjegyzés: IQR – interkvartilis terjedelem

Figure 8. The sulphate-ion concentration in the groundwater of the western, southern, and northern watershed areas (data for the years 2010-2022)

Note: IQR – interquartile range

A klorid-ion koncentráció változás okai

Az Egyesült Államok területén az utak jégmentesítése következtében télen néhány államban (Maryland, New York, New Hampshire) százszoros klorid-ion növekedést is észleltek (Kaushal és társai 2005). Az USA és Kanada mérési adatai révén ismert az amerikai nagy tavak sótartalmának másfél évszázados változása, a növekedés mértéke tavanként eltérő ugyan, de a Felső-tó kivételével mindenütt jelentős mértékű a klorid- és a szulfát-ion növekedése (Chapra és társai 2012). Délkelet-Wisconsin tavaiban az utóbbi harminc évben az átlagos klorid-ion koncentráció 19 mg/l-ről némely esetben 100 mg/l fölé nőtt (Thornton és társai 2015). Észak-Olaszországban mély szubalpin tavakban (Maggiore, Lugano, Como, Iseo, Garda) a Na⁺ és a Cl⁻ koncentráció 25 éves változását vizsgálva megállapították, hogy a koncentráció növekedést az utak sózása és a kommunális szennyvizek okozzák, a Cl⁻ ion koncentráció növekedése utóbbiakban 0,03 és 0,05 mg/l között volt évente (Rogora és társai 2015). Európa egyik legnagyobb tavában, a Boden-tóban a klorid koncentráció 40 év alatt 2,3 mg/l-ről 5,5 mg/l értékre nőtt, itt az éves növekmény 0,08 mg/l volt (Müller és Gachter 2012). Japánban a 670 km² területű Biva-tóban a klorid-ion koncentráció a huszadik század utolsó két évtizedében 7,4 mg/l-ről 9,9 mg/l értékre nőtt (Aota és társai 2003). Németországban a káliumbányászat következtében nőtt meg a környező vízfolyásokban néhol extrém mértékben a sókoncentráció (Schulz és Canedo-Arguelles 2019). A szalinizáció az északi féltekén már jól dokumentált, egy nemzetközi összefogásnak köszönhetően létrehozott legnagyobb globális adatbázis 529 észak-amerikai és európai tó több mint tíz évet átfogó klorid koncentráció adatát tartalmazza (Dugan és társai 2017).

A Balatonban a klorid-ion koncentráció (50 mg/l) jelentősen meghaladja a nagy európai tavak értékeit (3-6 mg/l) és az éves növekedés mértéke is (0,5-0,7 mg/l) jelentősen nagyobb, mint az említett mély tavakban. A Balatonban 1972-2022 között az összes ion koncentráció másfélszeresére nőtt, a 450 mg/l-nek tekinthető természeti háttérértékről 690 mg/l értékre (2. ábra), azonban az északi féltekén megfigyelt általános trenddel ellentétben itt nem a klorid-ion növekedés állt a háttérben. Az anionok közül a hidrogénkarbonát és a szulfát-ion növekedés is meghaladta a klorid-ionét, a kationok közül pedig a magnézium-ion koncentráció növekedés meghaladta a nátrium-ionét (1. és 2. táblázat). Tekintettel arra, hogy a tó nyugati vízgyűjtőjéről származó víz leggazdagabb klorid-ionban, valamint figyelembe véve azt, hogy az utóbbi évtizedekben a fagyos napok számának csökkenése ellenére (KSH 2022) a klorid-ion koncentráció töretlenül növekedett a tóban, annak forrását nem az utak sózásában kell keresnünk, hanem elsősorban a tisztított (szerencsére foszforban viszonylag szegény) szennyvizek bevezetésében, amihez a tájhasználat változása is hozzájárul, miszerint a beépített terület részaránya az 1927-es 1,6%-os értékről napjainkra 6,0%-ra nőtt (Petrovszki és társai 2024). Tekintettel arra, hogy Európában és az USA-ban a megengedett klorid-ion koncentráció 250 mg/l, a Balatonban az utóbbi fél évszázad jelentős mértékű növekedése ellenére a klorid-ion koncentráció mértéke nem jelent veszélyt az ivóvíz kivételekre.

A sótartalom növekedés ökológiai hatásai

Annak ellenére, hogy az édesvizek szalinizációja világméretű jelenség, vízi élőlény együttesekre való hatása még jórészt ismeretlen (Astorg és társai 2021). A klorid-ion koncentráció határértéke Kanadában 120 mg/l, ugyanakkor kanadai tavakban és laboratóriumi kísérletekben kimutatták, hogy ez a felső határérték messze nem megfelelő a

vízi élővilág védelméhez, például lágy vizekben a *Daphnia* fajok szaporodása csökkent és pusztulásának mértéke nőtt 5 és 40 mg/l klorid-ion koncentráció tartományban (Arnott és társai 2020, Hintz és társai 2022). Kemény vizekben (ilyen a Balaton is) a zooplankton sokkal ellenállóbb a klorid-ion koncentráció növekedésével szemben (Elphick és társai 2011). A szalinizáció hatása a kovamoszat flórára a vízi élőlényegyüttesek közül a legjobban ismert. A planktonikus és bentikus kovamoszat együttesek összetétele és diverzitása sótartalom függő, az ionkoncentráció és az ionösszetétel alapvető meghatározója a kovamoszat közösségeknek. Egy széles szalinitási skálán csökken a közösség alfa diverzitása. Számos kovamoszat indexet dolgoztak ki a sótartalom mértékének becslésére és a múltbéli szalinitásváltozás is nyomon követhető a kovamoszat fossziliák elemzésével (Stenger-Kovács és társai 2023). Németországban sokszáz vízi élőhelyen mérték fel az idegenhonos *Amhipoda*, *Isopoda*, *Gastropoda* és *Bivalvia* fajok megtelepedését. Megállapították, hogy az emelkedő hőmérséklet és klorid koncentráció volt a növekvő inváziós kockázat legfontosabb előre jelző tényezője (Früh és társai 2012). A jelenlegi tudáshiány összefügg azzal is, hogy a kutatások zöme a nátrium- és a klorid-ion koncentráció változására fókuszált, miközben a többi ion koncentráció növekedésére kevés figyelmet fordítottak. A jelenség összetettsége miatt még nagyon messze vagyunk a szalinizáció következményeinek megismerésétől molekuláris, fiziológiai, populáció és ökoszisztéma szinten (Cunillera-Montcusi és társai 2022).

A szulfát-ion koncentráció változásai

A szulfát-ion koncentráció különböző emberi tevékenységek hatására napjainkban világszerte növekszik, annak ellenére, hogy Észak-Amerikában és Európában a légköri szulfát kiülepedés jelentős mértékben csökkent. A szulfát növekedés hatása a vízi ökoszisztémák szerkezetére és működésére azonban még nagyrészt ismeretlen, mindemellett a legkevésbé toxikus a vizekre jellemző nyolc fő ion közül. A szulfát-iont általában nem tekintik vízszennyező tényezőnek, ivóvízben megengedhető koncentrációja Európában és az USA-ban 250 mg/l, Kanadában 500 mg/l (Zak és társai 2021). A Balatonban mért jelentős mértékű koncentráció növekedése a huszadik század elejének 50 mg/l körüli értékeiről az ezredforduló utáni 160 mg/l körüli értékekre még biztosan nem jelent veszélyt a tóból történő ivóvíz kivételekre.

A fentiek alapján a Balaton folyamatosan növekvő szalinizációja, ezen belül is a huszadik század eleji természeti háttér értékhez képest a nátrium-ion és a magnézium-ion koncentráció duplázódása, a klorid-ion ötszörös és a szulfát-ion háromszoros növekedése szükségszerűen hatással van a tó ökológiai rendszerére, amely azonban néhány korai kezdeményezést kivéve (Balogh és társai 2009) nem képezte vizsgálatok tárgyát.

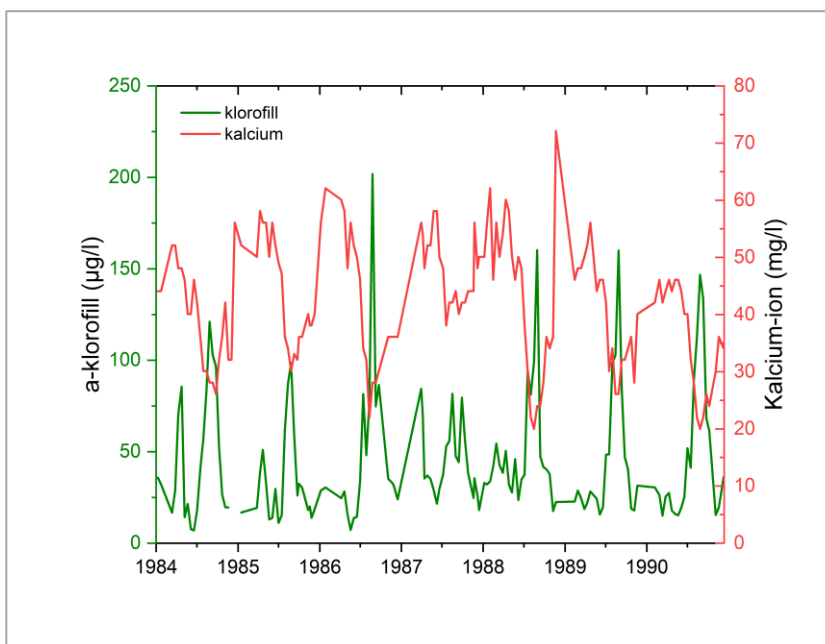
A dinamikus változó kalcium-ion

A rendelkezésre álló egy évszázadot átölelő adatok tanúsága szerint a tóban egyedül a kalcium-ion koncentrációja nem változott, 30-40 mg/l közötti értékek a jellemzők. Ennek hátterében az áll, hogy a befolyó vizek szerves szén rendszere nincs egyensúlyban a levegő CO₂ parciális

nyomásával, mert azokban a tartózkodási idő nem elégséges az egyensúly beállításához (Szilágyi 2003). A tóban viszont elegendő idő áll rendelkezésre ehhez, aminek következtében jelentős mértékű kalcit kiválás következik be, miközben a befolyó vizek kalcium koncentrációja kevesebb mint felére csökken, és ez a folyamat a tavon belül is folytatódik nyugatról keletre haladva (5. ábra). Ez a hossztenyeli menti változás eredményezi azt, hogy a tóban nyugat-keleti irányban növekszik a Mg/Ca arány. Az utóbbi 20 évben a Mg/Ca arány a Zala torkolatában átlagosan 0,42, a Keszthelyi-medencében 1,24, a Siófokiban pedig 1,55 volt. Korábban Pásztó 1957-ben már megállapította, hogy kelet-nyugati irányban a tó hossztenyelye mentén fokozatosan csökken a magnéziumtartalom és nő a kalciumtartalom, annak következtében, hogy a magnéziumkarbonát ötvénszer jobban oldódik, mint a kalciumkarbonát. Emiatt a Keszthelyi-medencében több alkáliföldfém-karbonát válik ki a vízből, mint a Balaton bármely részén (Pásztó 1963) ami a Balatonból kiváló kalcit Mg-tartalmát is befolyásolja. A Keszthelyi-medencében a lebegő anyagban lévő kalcit MgCO₃ tartalma 2,5 mol% körüli, Balatonkenesénél 7-8 mol%-ot is elérhet (Müller és Wagner 1978, Nyirő-Kósa és társai 2018).

A 2010 és 2022 évek vízmérlege, a hozzáfolyás és a Sióon történő vízeresztés mennyiségi adatai (Kravinszkaja 2023), valamint a befolyó vizek átlagos Ca-ion koncentrációi és a tóból távozó víz átlagos Ca-ion koncentrációja (Siófoki-medence) közötti különbségek alapján kiszámítottuk a tóban kicsapódó kalcit mennyiségét. Az eltérő vízjárású évek között a mészkő kiválás mértékében nagy különbségek voltak, a legkisebb érték 25 ezer tonna/év, a maximum pedig 125 ezer tonna/év volt, átlagosan pedig 75 ezer tonna/évnek adódott. Ezek az adatok nagyon közel állnak az Entz által biogén mészkő kiválásként definiált 84 ezer tonna/év értékhez (Entz 1959). Györke (1982) „az oldott anyagokból élő szervezetek által átalakított üledék” mennyiségét 100-150 ezer tonna/év körülire becsülte, emellett van egy a fentiekől jelentősen eltérő becslés, amely szerint az évente kiülepedő kalcit mennyisége másfél millió tonna (Rostási és társai 2022).

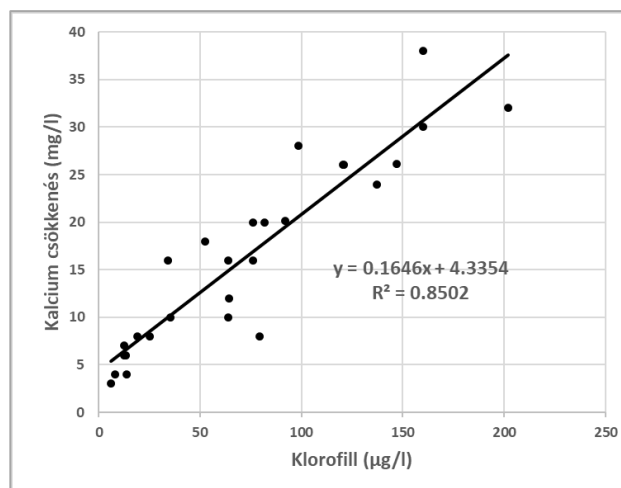
A biogén mészkő kiválás nyaranta jól megfigyelhető törékeny kéregként jelenik meg a balatoni hínárok hajtásain és levelein, emellett időszakosan elsősorban algatömegtermékek idején nagyobb területre kiterjedően megfigyelhető a kifehéredés (whitening) jelensége, amit a mikroorganizmusok méretű kalcit kicsapódás eredményez (Rostási és társai 2022). A biogén mészkő kiválás egyértelműen fotoszintézis függő, amit jól demonstrál a fitoplankton biomassza (a-klorofill) és a kalcium-ion koncentráció szezonális változása, amelyet az algában gazdag Keszthelyi-medence példáján mutatunk be a tó legproduktívabb időszakából. A két görbe egymás tükörképe, nyáron a tömegesen elszaporodott algák intenzív fotoszintézise következtében a kalcium-ion koncentráció jelentősen csökken, miközben a klorofill koncentráció nő, a klorofill csúcs egybeesik a kalcium minimummal. Az algatömegtermékek összeomlásával viszont a kalcium-ion koncentráció pontosan visszaállt a tavaszi egyensúlyi értékre, ami azt jelzi, hogy az így kivált kalcit visszaoldódott (9. ábra).



9. ábra. A kalcium-ion és az a-klorofill koncentráció szezonális változása a Keszthelyi-medencében (1984-1990)
 Figure 9. The seasonal variation of calcium-ion and chlorophyll a concentrations in the Keszthely basin (1984-1990)

A biogén mészkőkiválás, pontosabban a biológiailag indukált mineralizáció (Pósfai 2020) a Balaton nyíltvizében egy időszakos jelenség, és az algában szegény vízterekben (pl. Siófoki-medence) kisebb vagy elhanyagolható mértékű. Ezt dokumentálja az az összefüggés (10. ábra), amely szerint a biogén mészkőkiválás (kalcium-ion koncentráció csökkenés) mértéke a Balatonban szorosan korrelál a fitoplankton produkcióval (nyári a-klorofill maximum). A biogén mészkőkiválás szezonális változásai szá-

mottevően befolyásolják a vízben oldott Mg/Ca arányt is, a fentebb ismertetett példában ez 0,8-2,2 között változott, hét éves átlagértéke 1,2 volt (10. ábra). A fenti eredmények azt dokumentálják, hogy a Balatonban évi 75 ezer tonna körüli becsülhető mészkőkiválás (pontosabban magnéziumtartalmú kalcit) nem, vagy túlnyomórészt nem biogén eredetű, az a széndioxidban túltelített befolyó vizek széndioxid tartalmának a levegő széndioxidja parciális nyomásával való egyensúlyba kerülésének eredménye.



10. ábra. A kalcium-ion nyári csökkenése az évenkénti a-klorofill maximum értékek függvényében (Keszthelyi-, Szigligeti-, Szemesi- és Siófoki-medence, 1984-1990)

Figure 10. The summer decrease in calcium-ion concentration as a function of annual maximum chlorophyll a in the Keszthely, Szigliget, Szemes, and Siófok basins (1984-1990)

KONKLÚZIÓ

Az édesvizek szalinizációja világjelenség, a Balaton sem jelent ez alól kivételt. Az összes ion koncentráció változásai 130 évre visszamenően ismertek. Eredményeink szerint az összes ion koncentráció a tó egész területén a történeti háttérnek tekinthető 450 mg/l értékről napjainkra 620-690 mg/l körülire nőtt. Eszerint a Balaton egészen az 1980-

as évek elejéig édesvízű tó volt, de ma már édes-sós átmeneti vízű. A tó hossz tengelye menti változás sok kémiai komponens esetében jellemző. Keszthelytől Siófokig a kalcium-ion koncentráció csökken, ahogy a víz szerveszén rendszere egyensúlyba kerül a levegő szén-dioxid koncentrációjával. A betöményedés miatt a klorid, a szulfát, a nátrium és a kálium koncentrációja kissé nő.

Az összes ion koncentráció évenkénti növekedése az 1970-es évektől kezdődően a Keszthelyi-medencében 4,2 mg/l, a Siófoki-medencében 5,0 mg/l volt. A fentiek alapján a Balaton folyamatosan növekvő sótartalma, ezen belül a huszadik század eleji természeti háttér értékhez képest a nátrium-ion és a magnézium-ion koncentráció duplázódása, a klorid-ion ötszörös és a szulfát-ion háromszoros növekedése szükségszerűen hatással van a tó ökológiai rendszerére, amely azonban eddig nem képezte vizsgálatainak tárgyát.

A nyolc fő ion közül egyedül a kalcium-ion koncentrációja nem nőtt, 30-40 mg/l között értékek a jellemzők. A tóban a befolyó vizek szerves szén rendszere egyensúlyba kerül a levegő szén-dioxid koncentrációjának parciális nyomásával, aminek következtében a Balatonban jelentős mértékű mészkőkiválás (magnézium tartalmú kalcit) következik be. Az eltérő vízjárású évek között a mészkőkiválás mértékében nagy különbségek voltak, a legkisebb érték 25 ezer tonna/év, a maximum pedig 125 ezer tonna/év volt, átlagosan pedig 75 ezer tonna/évnek adódott. Az algák és a vízinövények fotoszintézise nyaranta jelentős ún. biogén mészkőkiválást okoz, azonban az így kivált kalcium-karbonát összel visszaoldódik.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A közleményben bemutatott kutatás az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt, valamint az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Aota, Y., Kumagai, M., Ishikawa K. (2003). Over twenty years trend of chloride ion concentration in Lake Biva. *J. Limnol.* 62. pp. 42-48. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2003.s1.42>

Arnott, S.E., Celis-Salgado, M.P., Valleau, R.E., DeSellas, A.M., Paterson, A.M., Yan, N.D. (2020). Road salt impacts freshwater zooplankton at concentration below current water quality guidelines. *Environ. Sci. Technol.* 54. pp. 9398-9407. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02396>

Astorg, L., Cagnon, J-C., Lazar, C.S., Derry, A.M. (2021). Effects of freshwater salinization on salt-naive planktonic eukaryote community. *Limnology and Oceanography Letters.* pp. 1-10. <https://doi.org/10.1002/lol2.10229>

Balogh Cs., B.Muskó I., G.-Tóth L., Purgel Sz. (2009). A vándorkagyló (*Derissena polymorpha*) vízszint csökkenésre és betöményedésre adott reakciója különböző laboratóriumi beállítások mellett. *Hidrológiai Közlemények.* 89. évfolyam 6. szám pp. 88-89.

Boros E., Horváth Zs., Wolfram G., Vörös L. (2014). Salinity and ionic composition of the shallow astatic soda pans in the Carpathian Basin. *Annales de Limnologie-International Journal of limnology.* 50. pp. 59-69. <https://doi.org/10.1051/limn/2013068>

Canedo-Arguelles, M. (2020). A review of recent advances and future challenges in freshwater salinization. *Limnetica,* 39. pp. 185-211. <https://doi.org/10.23818/limn.39.13>

Chapra, S.C., Dove, A., Warren, G.J. (2012). Long-term trends of Great Lakes major ion chemistry. *Journal of Great Lakes Research.* 38. pp. 550-560. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2012.06.010>

Cunillera-Montcusi, D., Beklioglu, M., Cañedo-Argüelles, M., Jeppesen, E., Ptacnik, R., Amorim, C.A., Arnott, S.E., Berger, S.A., Brucet, S., Dugan, H.A., Gerhard, M., Horváth Zs., Langenheder, S., Nejtgaard, J.C., Reinikainen, M., Striebel, M., Urrutia-Cordero, P., F.Vad Cs., Zadereev, E., Matias M. (2022). Freshwater salinization a research agenda for a saltier world. *Trends in Ecology and Evolution.* 37. pp. 440-453. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.12.005>

Csegezy G. (1938). Újabb adatok a balatonvíz összetételéhez. *Magy. Bio. Kut. Munk.* 10. pp. 424-428.

Dobolyi E., Jolánkai G., Tóth L. (1980). A Balaton vízminősége és a környezet hatása. In: Baranyi S. (szerk): A Balaton kutatása és szabályozása. VITUKI Közlemények 27. pp. 256-270.

Dugan H.A., Summers, J.C., Skaff, N.K., Krivak-Tetley, F.E., Doubek, J.P., Burke, S.M., Bartlett, S.L., Arvola, P.C., Jarjanazi, H., Korponai J., Kleeberg, A., Monet, G., Monteith, D., Moore, K., Rogora, M., Hanson, P.C., Weathers, K.C. (2017). Data Descriptor: Long-term chloride concentrations in North American and European freshwater lakes. *Scientific Data* 4. pp. 170101. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.101>

Elphick, J.R., Bergh, K.D., Bailey, H.C. (2011). Chronic toxicity of chloride to freshwater species. Effect of hardness and implications for water quality guidelines. *Environmental Toxicology and Chemistry.* 30. pp. 239-246. <https://doi.org/10.1002/etc.365>

Entz B. (1952). Horizontális kémiai vizsgálatok 1950. és 1952. nyarán a Balaton különböző biotópjaiban és néhány beömlő patak torokolatánál. *Annales Instituti Biologici Tihany.*

Entz B. (1953). Horizontális kémiai vizsgálatok 1950 és 1952 nyarán a Balaton különböző biotópjaiban és néhány beömlő patak torkolatánál. *Annal. Biol. Tihany* 21. pp. 29-48.

Entz B. (1959). Chemische Charakterisierung der Gewässer in der Umgebung des Balatonsees (Plattensees) und chemische Verhältnisse des Balatonwassers. *Annal. Biol. Tihany* 26. pp. 131-201.

Felföldy L. (1987). A biológiai vízminősítés. *Vízügyi Hidrobiológia* 13. pp. 1-258. VGI, Budapest.

Früh, D., Stoll, S., Haase, P. (2012). Physico-chemical variables determining the invasion risk of freshwater habitats by alien mollusks and crustaceans. *Ecology and Evolution.* 2. pp. 1843-2853. <https://doi.org/10.1002/ece3.382>

Györke O. (1982). A Balaton part- és mederszabályozása. *Vízügyi Közlemények.* 64. pp. 402-418.

Hamilton, S.K., Bruesewitz, D.A., Horst, G.P., Weed, D.B., Sarnelle, O. (2009). Biogenic calcite -phosphorus precipitation as a negative feedback to lake eutrophication. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 66. pp. 343-350. <https://doi.org/10.1139/F09-003>

- Hammer, U.T. (1986). Saline lake ecosystems of the world. Dr W.Junk Publishers, Dordrechts. p. 616.
- Herbert, E.R., Boon, P., Burgin, A.J., Neubauer, S.C., Franklin, R.B., Ardon, M., Hopfensperger, K.N., Lamers, L.P.M., Grill, P. (2015). A global perspective on wetland salinization : ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere* 6. pp. 1-43. <https://doi.org/10.1890/ES14-00534.1>
- Herodek S. (1983). A Balaton eutrofizálódása és a védekezés lehetőségei. Magyar Tudomány 7-8. pp. 506-518.
- Herodek S., Istvánovics V. (1988). Phosphorus metabolism and eutrophication control of Lake Balaton. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23. pp. 517-521. <https://doi.org/10.1080/03680770.1987.11897973>
- Hintz, W.D., Arnott, S.E., Symons, Ce.C., Greco, D.A., McClymont, A., Brentrup, J.A., Cañedo-Argüelles, M., Derry, A.M., Downing, A.L., Gray, D.K., Melles, S.J., Relyea, R.A., Rusak, J.A., Searle, C.L., Astorg, L., Baker, H.K., Beisner, B.E., Cottingham, K.L., Ersoy, Z., Espinosa, C., Franceschini, J., Giorgio, A.T., Göbeler, N., Hassal, E., Hébert, M.-P., Huynh, M., Hylander, S., Jonassen, K.L., Kirkwood, A., Langenheder, S., Langvall, O., Laudon, H., Lind, L., Lundgren, M., Proia, L., Schuler, M.S., Shurin, J.B., Steiner, C.F., Striebel, M., Thibodeau, S., Urrutia-Cordero, P., Vendrell-Puigmitja, L., Weyhenmeyer, G.A. (2022). Current water quality guidelines across North America and Europe do not protect lakes from salinization. *PNAS* Vol. 119 No. 9. e2115033119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2115033119>
- House, W.A. (1990). The prediction of phosphate coprecipitation with calcite in freshwaters. *Water Res.* 24. pp. 1017-1023. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(90\)90124-O](https://doi.org/10.1016/0043-1354(90)90124-O)
- Ilosvay L. (1898). A Balaton vizének kémiai viszonyai. *Balaton Tud. Tanulm. Eredményei* I. 6. pp. 1-27.
- Istvánovics V., Vörös L., Herodek S., G-Tóth L., Tátrai I. (1986). Changes of phosphorus and nitrogen concentration and phytoplankton in enriched lake enclosures. *Limnol and Oceanogr.* 31. pp. 798-811. <https://doi.org/10.4319/lo.1986.31.4.0798>
- Kaushal, S.S., Groffman, P.M., Likens, G.E., Belt, K.T., Stack, W.P., Kelly, V.R., Band, L.E., Fisher, G.T. (2005). Increased salinization of fresh water in the northeastern United states. *PNAS*, 102. pp. 13517-13520. <https://doi.org/10.1073/pnas.0506414102>
- Kaushal, S.S. Duan, S., Doody, T.R., Haq, S., Smith, R.M., Newcomer Johnson, T.A., Newcomb, K.D., Gorman, J., Bowman, N., Mayer, P.M., Wood, K.L., Belt, K.T., Stack, W.P. (2017). Human-accelerated weathering increases salinization, major ions, and alkalization in fresh water across land use. *Applied Geochemistry* 83. pp. 121-135. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.02.006>
- Kaushal, S.S., Likens, G.E., Pace, M.L., Reimer, J.E., Maas, C.M., Galella, J.H., Utz, R., Duan, S., Kryger, J., Yaculak, A., Boger, W., Bailey, N., Haq, S., Wood, K., Wesel, B., Collison, D., Aisin, B. (2021). Freshwater salinization syndrome: from emerging global problem to managing risks. *Biogeochemistry* 154. pp. 255-292. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-16299>
- Kitaibel Pál. P.K. (1829) *Hydrographica Hungariae praemissa auctoris vita edidit Joannes Schuster.* 2 tomi. (n. 8-r. LXVIII, 316 l. és 2 lev., 2 lev. és 407 l.) Pestini 1829. Typ. nobilis J. M. Trattner de Petrőza. A. E. M. T.
- KSH (2022). Központi Statisztikai Hivatal, 15.1.1.37. Magyarország és Budapest időjárásának adatai. https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0037.html
- Kravinszkaja G. (2023). A Balaton és a tórészek havi vízháztartási jellemzőinek meghatározása, 2022. Középdunántúli Vízügyi Igazgatóság. Siófok. pp. 1-35.
- Le, TDH., Kattwinkel, M., Schützenmeister, K., Olson, J.R., Hawkins C.P., Schafer R.B. (2018). Predicting current and future background ion concentrations in German surface water under climate change. *Phil. Trans. R. Soc. B* 374:20180004. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0004>
- Müller S. (1929). A Balaton vizének vegyelemzése. *Magy. Biol. Kut. Munk.* 2. pp. 145-156.
- Müller, B., Gachter, R. (2012). Increasing chloride concentrations in Lake Constance: characterization of sources and estimation of loads. *Aquat. Sci.* 74. pp. 101-112. <https://doi.org/10.1007/s00027-011-0200-0>
- Müller G., Wagner F. (1978). Holocene carbonate evolution in Lake Balaton (Hungary): a response to climate and impact of man. *Spec. Publ. int. Ass. Sediment.* 2. pp. 57-81. <https://doi.org/10.1002/9781444303698.ch4>
- Németh J., Pásztor P. (1976). A Balaton-víz szervesetlen ion-összetételének és összes sótartalmának vizsgálata. *Balaton Ankét* 3. MHT. Budapest.
- Nyíró-Kósa I., Rostási Á., Bereczk-Tompa É., Cora I., Koblar M. (2018). Nucleation and growth of Mg-bearing calcite in a shallow, calcareous lake. *Earth and Planetary Science Letters.* 496. pp. 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.05.029>
- Pásztor P. (1963). A Balaton vízminőségének vizsgálata. *VITUKI Tanulmányok és Kutatási Eredmények* 11. pp. 1-125.
- Petrovszki J., Szilassi P., Erős T. (2024). Mass tourism generated urban land expansion in the catchment of Lake Balaton, Hungary – analysis of long-term changes in characteristic socio-political periods. *Land Use Policy* In review.
- Pósfai M. (2020). A Balaton üledékének ásványai. *Földt. Közl.* 150.4.511 <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2020.150.4.511>
- Rogora, M., Rosario, M., Kamburska, L., Salmaso, N., Cerasino, L., Leoni, B., Garibaldi, L., Soler, V., Lepori, F., Colombo, L., Buzzi F. (2015). Recent trends in chloride and sodium concentrations in deep subalpine lakes (Northern Italy). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22. pp. 19013-19026. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5090-6>
- Rostási Á., Rác K., Fodor M.A., Topa B., Molnár Zs., Weiszbürg T.G., Pósfai M. (2022). Pathways of carbonate sediment accumulation in a large, shallow lake. *Frontiers in Earth Science.* 10.3389/feart.2022.1067105. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.1067105>
- Salánki J., V.-Balogh K., Berta E. (1982). Heavy metals in animals of Lake Balaton. *Water Research.* 16. pp. 1147-1152. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(82\)90132-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(82)90132-4)
- Schulz, C.J., Canedo-Argüelles, M. (2019). Lost in translation: the German literature on freshwater salinization. *Philosophical Transactions R. Soc. B* 374:20180007. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0007>

Scott, R., Goulden, T., Letman, M., Hayward, J., Jamieson, R. (2019). Long-term evaluation of the impact of urbanization on chloride levels in lakes in a temperate region. *Journal of Environmental Management* 244. pp. 285-293. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.029>

Sebestyén O. (1963). Bevezetés a Limnológiába. Akadémiai Kiadó, Budapest. p. 234.

Somlyódy, L., van Straten, G., (eds) (1986). Modelling and managing shallow lake eutrophication. Springer Verlag, ISBN3-540-16227-5. p. 386.

Stenger-Kovács C., Béres V.B., Buczkó, K., Tapolczai K., Padisák J., Selmezy G.B., Lengyel E., (2023). Diatom community response to inland water salinization: a review. *Hydrobiologia* 850. pp. 4627-4663. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05167-w>

Szabó Z. (1930). A Balaton vizének vegyelemzése. *Magy. Biol. Kut. Munk.* 3. pp. 488-500.

Szilágyi F. (2003). A vízpótlás hatása a Balaton és a Zala vizének ionösszetételére. Kézirat. BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, Budapest.

Thornton, J.A., Slawski, T.M., Lin, H. (2015). Salinization: the ultimate threat of temperate lakes, with particular reference to Southeastern Wisconsin (USA). *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. 33. pp. 1461-1475. <https://doi.org/10.1007/s00343-015-4368-3>

V.-Balogh K., Salánki J. (1986). Nehézfémek koncentrációjának időbeli változása a dévérkeszeg (Abramis brama L.) szerveiben eltérő szennyezettségű természetes vizekben. *Hidrológiai Közöny*, 66. évf. pp. 84-89.

V.-Balogh K. (1986). Szennyvíztisztító és vitorlástelep nehézfémzennyezésének jelzése Balatonfüred térségében. *Hidrológiai Közöny* 66. pp. 360-365.

Virág Á. (1998). A Balaton múltja és jelene. Egri Nyomda Kft. Eger. p. 904.

Wetzel, R.G. (1983). *Limnology*. Saunders College Publishing, Philadelphia.

Williams, W.D. (1998). Management of inland saline waters. *Guidelines of lake management* 6. ILEC, Japan. P. 108.

Williams, W.D. (2001). Anthropogenic salinization of inland waters. *Hydrobiologia* 466. pp. 329-337. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2934-5_30

Zak, D., Hupfer, M., Cabezas, A., Jurasinski, G., Auer, J., Kleeberg, A., McInnes, R., Kristiansen, S.M., Petersen, R.J., Liu H., Goldhammer T., (2021). Sulphate in freshwater ecosystems: A review of sources, biogeochemical cycles, ecotoxicological effects and bioremediation. *Earth Science Reviews* 212:103446. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103446>

A SZERZŐK



VÖRÖS LAJOS Kutató professor emeritus, az MTA doktora, algológus, limnológus. A HUN-REN Balatoni Limnológiai Kutatóintézet Hidrobotanikai és Mikrobiális Ökológiai Kutatócsoportjában tavak és folyóvizek fitoplanktonjának elsődleges termelésével, ökológiájával, az eutrofizáció és a salinizáció hatásainak elemzésével foglalkozik. Kiemelten tanulmányozza a bakteriális méretű pikofitoplankton az édesvízi élőhelyek mellett extrém környezetben, többek között a Kárpát-medence szikes tavaiban, erdélyi és kazahsztáni hipersós tavakban. A Magyar Hidrológia Társaság tagja 1996 óta.



TÓTH GYÖRGY ISTVÁN Az Országos Vízügyi Főigazgatóság kiemelt műszaki referense, vegyész-mérnök. Tevékenységi területei: kémiai környezetanalitikai eljárások fejlesztése, validálása, szabványosítása, minőségirányítási rendszer bevezetésének koordinációja a vízvizsgálati laboratóriumokban, adatbázisok és állapotértékelési rendszerek kialakítása, a vízminőségi monitoring szervezése. Az MSZT MB714 vízvizsgálati nemzeti szabványosítási bizottság elnöke.



LÁTRÁNYI-LOVÁSZ ZSÓFIA Kiemelt műszaki referens, Kis-Balaton Üzem-mérnökség, Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság. Természetvédelmi és vízgazdálkodási szakmérnök végzettségét 2018-ban szerezte a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen. Szakterülete a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer üzemirányítása, kutatások szervezése, összefogása. A Magyar Hidrológia Társaság tagja 2018 óta.



SOMOGYI BOGLÁRKA Tudományos főmunkatárs, HUN-REN Balatoni Limnológiai Kutatóintézet. PhD fokozatát 2011-ben szerezte meg az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, hidrobiológia szakterületen. Kutatási területe a fotoautotróf és heterotróf mikroorganizmusok (főként algák és baktériumok) dinamikájának és kapcsolatrendszerének vizsgálata természetes vizekben. Jelenlegi kutatásai vizes élőhelyek produkciobiológiai és mikrobiális ökológiai kérdéseire fókuszálnak, kiegészülve a korábban elkezdett molekuláris genetikai munkák folytatásával. 2008-tól a Magyar Hidrológiai Társaság tagja, 2023-tól a Limnológiai Szakosztály titkára.

Fórum

A FÓRUM rovat keretében teret nyitunk különleges, vagy talán mehökkentő szakmai viták, eszmecserék kibontakozására.

Egy felvetés és egy körkérdés: a kék és zöld vízforgalom valamint az éghajlati vízhiány egységes szemléletében való kezelése

Ungvári Gábor¹, Báder László²

¹ REKK Kft. Vízgazdasági Csoport (e-mail: gabor.ungvari@rekk.hu)

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék. 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., K épület magassföldszint 12.

DOI: 10.59258/hk.16465



Kivonat

Ez az írás egy probléma felvetés, ami egy eszmecserére felhívó körkérdést vezet be. A problémafelvetés az éghajlati vízhiány és energia oldali következményeinek szemléltetésére irányul. Az éghajlatváltozás és más antropogén hatások következtében egyre szélsőségesebb vízháztartási helyzetek vizsgálhatóak egy egybefonódó légkörzés-vízkörzés szemléleten alapuló „éghajlati-energia cserélő modell” segítségével. A funkcionális elemzés magyarázatot adhat a klímaváltozásnak tulajdonított többlet melegedés eddig kevés figyelmet kapott okaira és a vízkörforgás változásaiból adódó következményekre. A felvetés a kék és zöld vízármlások (azaz a direkt vízhasználatok, valamint a vízfelületek és növényzet vízhasználata) mellé helyezi harmadik elemnek a vörös víz (azaz a víz hiányában a felszínen felszabaduló hő) vízegyenértékét. A kérdésfeltevés arra vonatkozik, hogy feladatként megfogalmazható-e és ha igen, milyen szakpolitika keretében kezelhető ennek a hiánynak a csökkentése?

Kulcsszavak

Hidrológiai ciklus, éghajlatváltozás, párolgás, klimatikus vízigény, ökoszisztéma szolgáltatások, felszínhőmérséklet, kis vízkör, vízbiztonság.

Proposal for discussion: the management of blue and green water circulation and climate water scarcity in a unified approach

Abstract

This paper raises a problem and invites for discussion. The problem aims at illustrating the deficit in the water budget and its energy side consequences. Water extremities due to climate change and other anthropogenic forcings can be investigated in the context of a coupled atmosphere-water cycle-energy exchange model, which may explain the water cycle drivers of excess warming attributed to climate change. The approach adds a third element to the blue and green water fluxes (surface water and water used by vegetation): red water, i.e. the water equivalent of the heat released at the surface in the absence of water for evapotranspiration. The question is whether and, if so, what policy should be put in place to reduce this deficit?

Keywords

Hydrological cycle, climate change, evaporation, evapotranspiration, climatic water demand, ecological services, surface temperature, short water cycle, water security.

BEVEZETÉS

Kék víz, zöld víz, egyre többen keretik így a vízkörforgás végtelenül összetett rendszerének különböző szakaszait. A vízgazdálkodás, vízkárelhárítás tevékenységei, infrastruktúrái jelentik ebben a megfogalmazásban a kék vizet, amit látunk, elosztunk, hasznosítunk, védekezünk ellene (beleértve a lakossági, ipari, mezőgazdasági vízhasználatot is). A zöld víz a természetes és az agrár területek által tározott és növényzete által felhasznált, legnagyobb részben elpárologtatott víz. A megkülönböztetés lényeges különbségeket próbál megragadni, habár a két halmaz természetesen nem választható szét egyértelműen. Ami ebből a színes szemléletből hiányzik az a vízhiány esetén a zöld vízármlás elmaradásának energia oldali következménye, a hőtermelés vízegyenértéke (tulajdonképpen itt nem is a vízről van szó, hanem a hiányzó víz miatt hiányzó hőszállító

funkcióról). Nevezhetjük ezért ezt a vízmennyiséget vörös víznek, szemléltetve, hogy víz hiányában a felszínről több hő szabadul fel. Az éghajlatváltozás és más antropogén hatások következtében egyre szélsőségesebb vízháztartási helyzetek csillapítása érdekében egyre nagyobb szükség van ennek a három áramlásnak az együttes szemléletére és szabályozására (*Te Wierik és társai 2021*).

A 2022 évi rendkívüli aszály rámutatott arra, hogy napjainkban a vízhiány sokkal nagyobb károkat képes okozni, mint a vízbőség, ezért közgazdasági szempontból is újra kell gondolnunk, hogy a hasznosítás és védekezés során hogyan bánjunk a vízzel. Egy ilyen, interdiszciplináris megközelítést igénylő változáshoz szükség van a jelenségeket megragadó fogalmak meghatározására és a folyamatok pontos megértésére.

A „Magyarország vízmérlege és az éghajlatváltozás” című közlemény ezt az egységes szemléletet mutatja be (Báder 2023). Egybefonódó légkörzés-vízkörzés modellben vizsgálja vízháztartási mutatóinkat és ad ebben az értelmezési keretben új szemléletű magyarázatot a szárazföldeken a klímaváltozásnak tulajdonított többlet melegedés okaira. A közlemény szemléleti újítása, hogy ezt a két folyamatot (lég- és vízkörzés) egy hőcserélő/hőterítő/hőterítő rendszerként látatja, mint egy légkondicionáló berendezést, amelyben a Föld melegebb, egyenlítői részéről áramlik az ott felmelegedést előidéző napenergia a jóval kisebb besugárzást kapó, így jóval hidegebb sarkvidéki területek felé. Ennek a sarkok felé és a magasabb hidegebb légrétegek felé tartó hőáramlásnak része a mérsékelt égöveket érő időszakos (nyári) energiatöbblet elszállítása is. A hőcsere folyamatok következményeként mind a besugárzás többlettel rendelkező kibocsátó, mind a besugárzás hiánnyal rendelkező célterület kedvezőbbé válik a földi életfolyamatok számára. A légkörnek a víz párolgására épülő hőszállító, melegedést korlátozó, a hőt szétterítő szerepe tehát a szárazföldeken létszükséglet, mert itt nem áll korlátlanul rendelkezésre a víz, mint az óceánokban.

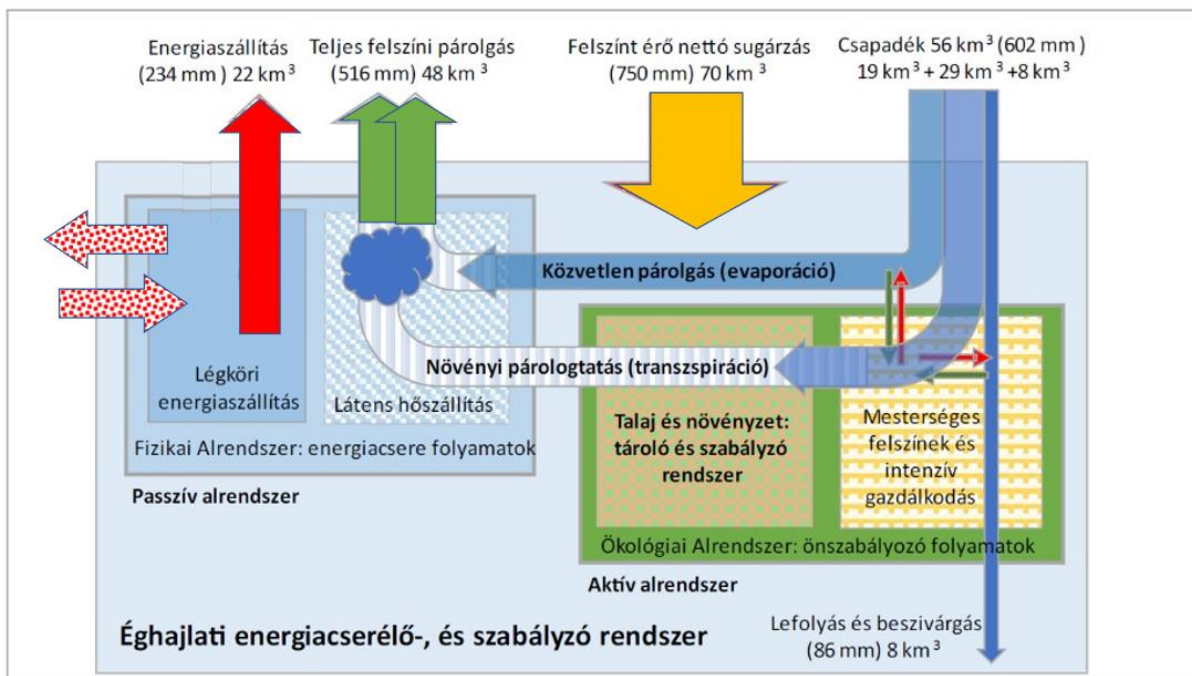
A felszínen zajló élet szempontjából azonban nagyon nem mindegy, hogy milyen módon jut a légkörbe a felszín elé, szétterítendő energiatöbblet. Az energia elszállítás folyamatában a párolgás és párologtatás (az angol szakki-fejezésben evapotranspirációként összevonva) az, ami mérsékli és megelőzi a felszín túlmelegedését, mert a besugárzás energiájának nagy részét felveszi és így az a felszínről a vízpárával távozik. Kicsapódásakor az energia felszabadul a légkör magasabb rétegeiben a víz pedig előbb-utóbb visszahullik a felszínre, készen az újabb energia

transzportra. Saját önös szempontunkból a függőleges irányú energiaszállítás a fontos egy adott helyen, így kerülhető el a túlzott felszíni hőképződés és marad élhető a környezetünk. Ez a felfelé irányuló energiaszállítás egy nyári napon meghatározó lehet a globális, sarkok felé tartó energia közvetítéshez képest.

A klímaváltozás kapcsán felmerülő kérdés az, hogy a globális folyamatokra, – mint a légkör magasabb párafelvelő képessége, a csökkenő felhőborítottság a szárazföldek felett (Dong és társai 2023) – amelyek megnövekedett energiaszintet jelentenek, vajon a regionális folyamatok tudnak-e a szükséges mértékű teljesítmény növekedéssel reagálni, hogy a felszín közelében továbbra is számunkra kedvező életfeltételek uralkodjanak? A szárazföldeknek az előrejelzéseknél gyorsabb ütemű felmelegedése (Horváth és Breuer 2023), és a sorozatos európai aszályok arra engednek következtetni, hogy ezek a regionális léptékben megfigyelhető változások sok esetben nem elégségesek a kedvezőtlen változások ellensúlyozására. Ezt mutatják a hazai tapasztalatok is, ahol az éves párolgás növekedése az 1981-2020-as időszakban 1,64 mm/év volt, de ennél nagyobb ütemben, 2,23 mm/év mértékben nő a potenciális párolgás (Báder és Szilágyi 2023).

MÓDSZER

Mit tudunk elmondani Magyarország helyzetéről ebben a folyamatban? Az éghajlati energiacsere-, és szabályzó rendszer sematikus vázlatát adhat ehhez fogódzók (1. ábra). Az egységes szemlélet alapján az ország felszínét elérő éves nettó sugárzás mennyisége víz-egyenértékben kifejezve is megjelenik. Az átváltás alapja az adott energiamennyiséggel elpárologtatható víz mennyisége.



1. ábra. Az „éghajlati energiacsere- és szabályzó rendszer” modellje Magyarország vízmérlegének 2001-2010 éves adatai alapján (Báder 2023)

Magyarázat: a légtörzi energiaszállításhoz a területről kívül érkező hőmennyiség.

Figure 1. The functional model of the „Climatic Energy Distribution and Regulation System” based on the annual average values of the water balance of Hungary in 2001-2010 (Báder 2023).

Explanation: heat arrives from outside the area through the atmosphere

Az 1. ábra alapján az egységes szemléletben a folyamatokat a beeső energia nagyságához kell viszonyítani, amely nettó sugárzás vízgyenértékben van kifejezve ($70 \text{ km}^3/\text{év}$). A területi folyamatok eredményeképp a nettó sugárzás felszín melegítő hatását a $48 \text{ km}^3/\text{év}$ vízmennyiség elpárolgása tompítja (beleértve a növények párologtatását). Emellett azonban további $22 \text{ km}^3/\text{év}$ vízmennyiségnek lehetne szerepe a kialakuló lokális hőterhelés csökkentésében. (Ezt a hiányt, az el nem szállított hőmennyiség vízgyenértékét nevezzük vörös víznek.) Ez a hiány a beeső energiamennyiség arányában 31%, amely mögött a hővé alakuló besugárzás nagyságában ráadásul jelentős területi különbségek állnak (pl. ártéri erdős területek, valamint a városi és csupasz táji hőszigetek között).

A túlmelegedést a látens hőszállítás arányának növelésével lehet érdemben korlátozni. A csapadék mennyisége országos átlagban ugyan jelenleg még elegendő lenne, de nem mindig akkor és ott esik, amikor a párolgásra és annak a hőt a felszínről elszállító képességére szükség van. Ahhoz, hogy a víznek ez, a lokális hőterhelést csökkentő szerepe megvalósuljon szükség van az időzítésre, a területi találkozások lehetőségének a javítására nedvesség és napenergia között, (amit a csapadék beszivároztatása és a mély gyökérzetű fás vegetáció együttese, vagy a kiszáradással szemben kellő utánpótlással rendelkező vizes élőhelyek valósítanak meg legjobban). Nem csak a tározókapacitás, hanem annak „aktívhatósága” is kérdés.

A túlmelegedést okozó vízhiány nagysága (az energiaszállításra elérhető vízmennyiség hiánya) ugyanakkor egyértelművé teszi, hogy a csapadék jobb hatékonyságú felhasználása önmagában nem elegendő ennek a hatásnak az ellensúlyozására, a felszíni és a beszivárgással pótlódó készleteket is fel kell tudni használni az egyenleg javítására. (Ez a cél azonban a talajnedvesség tartalékok maximalálásán keresztül érhető el, nem a felszíni (meder) tározókapacitás maximalálásán keresztül. A tározókapacitásokat a nagy területi léptékben megvalósítani szükséges talajnedvesség pótlás céljához kell igazítani.) A jelenlegi klíma alkalmazkodási elképzeléseink jellemzően alábecsülik ennek a feladatnak a víz és területigényét, amikor a hatások csillapítása érdekében a fókuszt a medertározás kérdésre és a mezőgazdasági célú öntözésre irányul. A talaj jelentőségét, a víztározásban, majd a növények vízellátásán keresztül az éghajlati vízigények biztosításában betöltött felbecsülhetetlen szerepét a szakértők egyre jobban hangsúlyozzák (Várallyai 2016). A hőcserélő hasonlat segíthet értelmezni a jelenleg kibontakozó helyzetet és azt, hogy milyen mértékű párologtatási teljesítmény növelésre van szükség a folyamatok befolyásolására.

A klímaváltozás globális hatását a fenti keretben azonosítsuk a besugárzás megváltozásával. Az ERA5-Land adatain alapuló számítások szerint „A (nettó) sugárzási egyenleg értéke párolgásra átszámítva 1981 és 2020 között 756 -ról 846 mm -re nőtt (vízgyenértéke $8,4 \text{ km}^3$)! Ugyanabban a 40 éves időszakban a párolgás éves mennyisége 6 km^3 -rel, a potenciális párolgás (mely fogalmat az öntözési vízigény becslésének meghatározásával kapcsolatban

vezettek be) pedig 8 km^3 -rel nőtt” (Báder és Szilágyi 2023). Vagyis az 1. ábrán is szemléltetett időszakhoz képest romlott az egyenleg. A felszínen hőterhelést okozó energiamennyiség (a vörös, hiányzó hűtővíz nagysága) növekedett, a párolgás növekedése ellenére is nőtt a hiány.

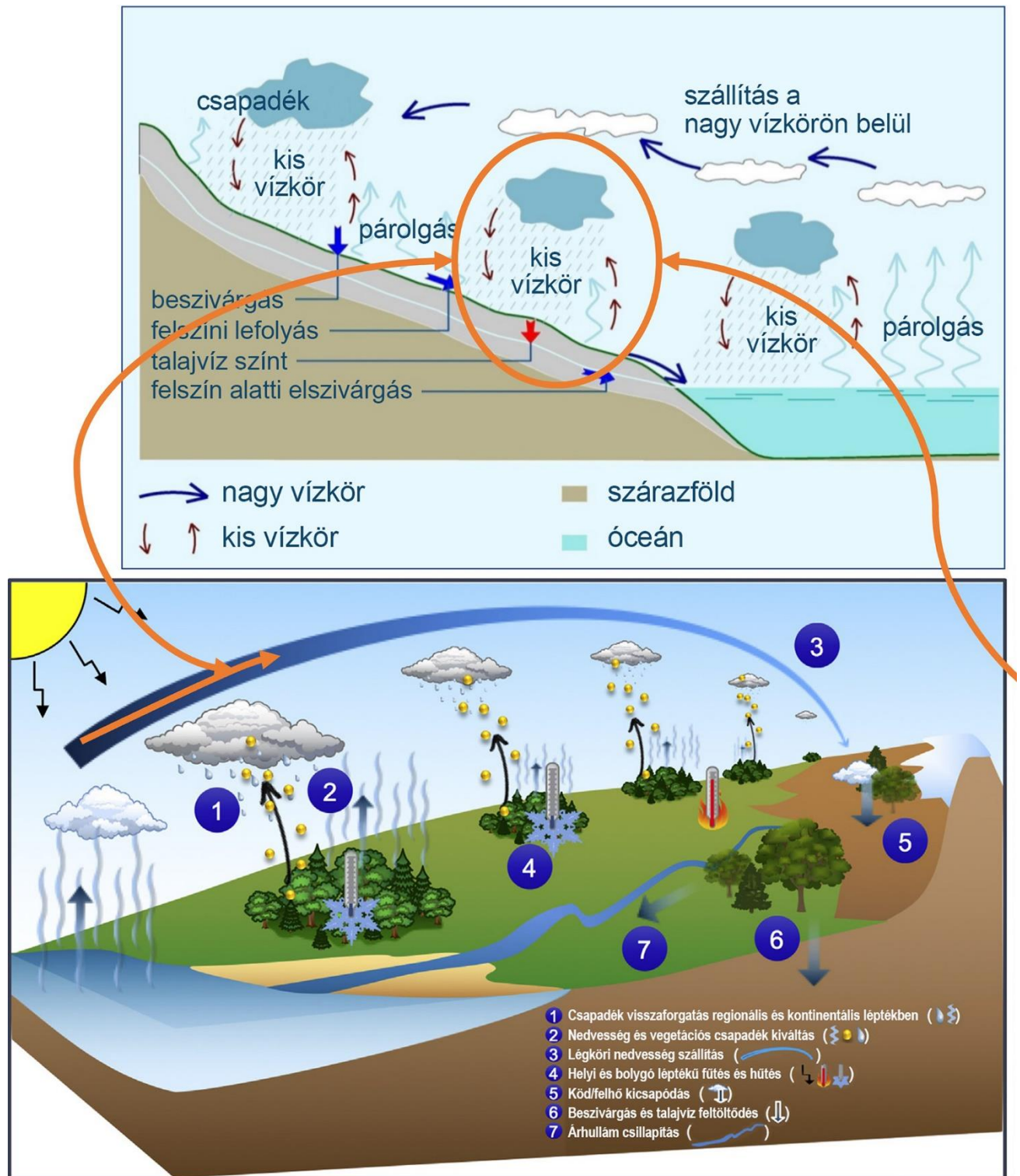
A párologtatóképességet a klímaváltozás több hatása is csökkentheti:

1. a ritkább, de intenzívebb csapadékból kevesebb tud beszivárogni, így általában romlik az egyenleg.
2. a kevésbé egyenletes csapadék-utánpótlás és a növekvő besugárzás a talaj felső rétegeiben csökkenti a nedvességtartalék képződését.
3. a területhasználat változásai, mint a leburkolás, intenzív gazdálkodás, víztöbblet befogadására és ezért a vegetációs időszak teljes hosszában magas párologtatási teljesítményt nyújtani képes (fásszárú, mélygyökerű) vegetáció csökkenése mind abba az irányba mutatnak, hogy elképzelhető, hogy nem csak a talajban tározott nedvesség mennyisége csökken, de az a hányad is, ami ebből a csökkenő mennyiségből a kritikus időszakokban a csillapítás érdekében mobilizálható.

A fentiekből összességében levezethető, hogy a nyári, maximális besugárzási időszakok idején előidézhető párologtatás mennyiségének növelése nélkül a globális folyamatok kikényszerítette erőteljes kiszáradási tendenciák és lokális hőhullám csúcsok nem tarthatóak kordában. A vízgazdálkodás feladatai szempontjából a párologtatáshoz szükséges vízmennyiség biztosítása (időzítése és mennyiségi növelése) alapvető céllá kell, hogy váljon. A párologtatásra a mezőgazdaság termeléstehnológiai megközelítésével szemben (ahol „csak” a növény vízigényét kell biztosítani) nem lecsökkentendő elemként kell tekinteni (mint veszteség), hanem növelni kell azt. A cél ugyanis, hogy az ökológiai/területi folyamatok révén a víz/energia-háztartás deficitjének csökkentését lehessen elérni (egy alapvető ökoszisztéma szolgáltatás formájában). A Magyarországon átfolyó vízmennyiség, nagyságrendileg $100 \text{ km}^3/\text{év}$ ebben a kontextusban lenne megítélendő.

A 2. ábra (Ungvári és Kis 2019) – az ábra eredetijének változata itt érhető el – egy még tágabb kontextusba helyezi a fent vázolt, logikailag kapcsolódó folyamatokat. Kiemeli a természetes rendszerek fontosságát, amelyek a besugárzás mértékével egy nagyságrendben lévő párologtatási teljesítményt képesek nyújtani. A légkörbe visszaforgatott vízpára nem veszteség, mert ez biztosítja a csapadék sokszorozhatóságát, újrahasznosíthatóságát a szárazföld felett. Ez ma már egy modellezhető és számítható hatás (Van Der Ent és társai 2010, Sterling és társai 2013, Keys és társai 2016).

A 2. ábrán megjelenített csapadék visszaforgatási képesség egyrészt a felszíni túlmelegedés megelőzésének vagyűrűző hatékonyságával van összefüggésben, másrészt, amire az ábra szintén utal, hogy az ökoszisztéma szolgáltatásokon keresztül ez a képesség adja a társadalmi jólét kibontakoztatásának természeti tőkáját is.



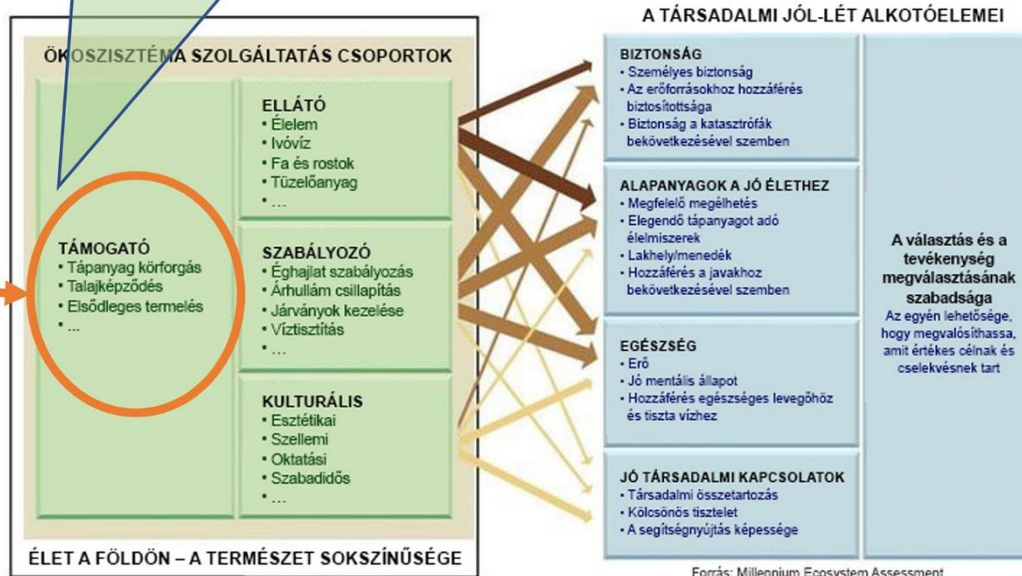
2. ábra. A vegetáció vezérelte vízvisszaforgatás teljesítménye és a társadalmi jólét alapját biztosító Támogató ökoszisztéma társai 2007, Millennium Ecosystem Assessment Program 2005) alapján
Figure 2. The connection between the weakening intensity of the terrestrial water cycle and the notion of human (2007, Millennium Ecosystem Assessment Program 2005)

A Támogató Ökoszisztéma Szolgáltatások csoport és a szárazföld feletti vízkörforgás elemeinek integrációja

- Csapadék
- Beszivárgás
- Tápanyag körforgás
- Elsődleges (biomassza) produkció - Párolgatatás-Hűtés
- Talajképződés

Millennium Ecosystem Assessment

Az ökoszisztéma megváltozásának következményei a társadalmi jólétre



A NYILAK SZÍNE
Lehetőség a pótlásra társadalmi megoldások bevonásával

- Alacsony
- Közepes
- Magas

A NYILAK VASTAGSÁGA
A kapcsolat jellege az ökoszisztéma szolgáltatás és az

- Gyenge
- Közepes
- Erős

szolgáltatások, mint természeti tőke nagyság közötti kapcsolat (Ungvári és Kis 2019), részabrák (Ellison és társai 2017; Kravčík és (https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wat2.1380#) well-being as a declining asset from (Ungvári és Kis, 2019), assembled from (Ellison et al. 2017, Kravčík et al. (https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wat2.1380#)

A KÖRKÉRDÉS

A közleményben vázolt felvetéssel kapcsolatban a Hidrológia Közlemény interdiszciplináris szakmai eszmecsere szeretne kezdeményezni. Ezért kérjük, hogy az alábbi körkérdések megválaszolásával segítse munkánkat:

1. A fenti összefüggések fényében, mi a véleménye arról, hogy a vízgazdálkodás hazai céljai közé explicit módon be kell kerülnie az éghajlati vízhiány (a vörös víz) csökkentésének?
2. Milyen kapcsolódási pontokat lát a felvetett vízpolitikai célkitűzések és a saját szakterületének feladatai között? Milyen további szakterületek, ágazatok együttműködését tartja még szükségesnek?

Kérjük, hogy a válaszokat a HK@hidrologia.hu címre szíveskedjenek küldeni, feltüntetve a Tárgyban: KÖRKÉRDÉS. A válaszokat anonim módon kezeljük. A kiértékelést és a reményeink szerint kialakult vitát a FORUM rovatban tesszük közzé. Köszönjük, ha válaszával segíti a munkánkat!

IRODALOMJEGYZÉK

Báder L. (2023). Magyarország vízmérlege és az éghajlatváltozás. *Hidrológiai Közlemény*, 103. évf. 1. sz. pp. 4-16. <https://doi.org/10.59258/hk.10410>

Báder, L., Szilágyi, J. (2023). Widening Gap of Land Evaporation to Reference Evapotranspiration Implies Increasing Vulnerability to Droughts in Hungary. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. <https://doi.org/10.3311/PPci.21836>

Dong, B., Sutton, R. T., Wilcox, L.J. (2023). Decadal trends in surface solar radiation and cloud cover over the North Atlantic sector during the last four decades: Drivers and physical processes. *Climate Dynamics*, 60(7-8), pp. 2533-2546. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06438-3>

Ellison, D., Morris, C.E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., Noordwijk, M.V., Creed, I.F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D.V., Tobella, A.B., Ilstedt, U., Teuling, A.J., Gebrehiwot, S.G., Sands, D.C., Muys, B., Verbist, B., Springgay, E., Sugandi, Y., Sullivan, C.A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, pp. 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>

Horváth Á., Breuer H. (2023). A víz körforgalma a légkörben és a 2022-es rendkívüli aszály meteorológiai háttere. *Légekör*, 68. évf. 1. sz. pp. 2-8. <https://doi.org/10.56474/legkor.2023.1.1>

Keys, P.W., Wang-Erlandsson, L., Gordon, L.J. (2016). Revealing Invisible Water: Moisture Recycling as an

Ecosystem Service. *PLOS ONE*, 11(3), e0151993. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151993>

Kravčik, M., Pokorný, J., Kohutiar, J., Kováč, M., Tóth, E. (2007). Water for the Recovery of the Climate – A New Water Paradigm. People and Water NGO.

Millennium Ecosystem Assessment Program (Ed.). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press. ISBN: 978-1-59726-040-4 978-1-59726-039-8

Sterling, S.M., Ducharme, A., Polcher, J. (2013). The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle. *Nature Climate Change*, 3(4), pp. 385-390. <https://doi.org/10.1038/nclimate1690>

Te Wierik, S.A., Cammeraat, E.L. H., Gupta, J., Artzy-Randrup, Y.A. (2021). Reviewing the Impact of Land Use and Land-Use Change on Moisture Recycling and Precipitation Patterns. *Water Resources Research*, 57(7), e2020WR029234. <https://doi.org/10.1029/2020WR029234>

Ungvári, G., Kis, A. (2019). A macroeconomics-inspired interpretation of the terrestrial water cycle. *WIREs Water*, 6(6). <https://doi.org/10.1002/wat2.1380>

Van Der Ent, R.J., Savenije, H.H.G., Schaeffli, B., Steele-Dunne, S.C. (2010). Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Research*, 46(9), 2010WR009127. <https://doi.org/10.1029/2010WR009127>

Várallyai Gy. (2016). A talaj multifunkcionalitása és korlátozó tényezői, *Magyar Tudomány* 177. évf. 10. sz. pp. 1162-1174.

A SZERZŐK



UNGVÁRI GÁBOR, PhD közgazdász, vízgazdasági elemző. A REKK Kft Vízgazdasági Csoportjának munkatársa elsősorban a hazai, illetve a környező régióra vonatkozó vízhasználatok és vízkár-elhárítási tevékenységek gazdasági és környezeti szempontú elemzésével foglalkozik. Az MHT tagja 2020 óta, részt vesz a Hidrológiai Közlemény Szerkesztő Bizottságának és az International Water Resources Association keretében működő „LAND4Flood Taskforce” szakértői csoport munkájában. Az MHT tagja 2019-től.



BÁDER LÁSZLÓ mérnök-geográfus. 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. A versenyszektorban szerzett munkahelyi tapasztalatokat, közben társadalmi szervezetekben is dolgozott. Az MHT tagja 2022-től.

Fórum

A FÓRUM ad teret a vitának. Ezért itt tesszük közzé Belényesi Pál vitaindító írását a vízgazdálkodás és a víziközmű reformjáról. A konstruktív vita a szakma javára szolgál!

Vízgazdálkodási és víziközműreform Magyarországon – Átfogó megközelítés és javaslatok

Belényesi Pál^{1,2}

¹ Of Counsel – Dentons Réciczka Law Firm Budapest, (e-mail: pal.belenyesi@dentons.com)

² Policy director – Central European Lawyers Initiative

DOI: 10.59258/hk.16466



Kivonat

A tanulmány a vízgazdálkodás és víziközmű-hálózatok rendszerszintű problémáit helyezi egy globálisból induló, majd nemzeti szintre érkező keretrendszerbe. Az azonosított hiányosságokra pedig egy integrált, különböző szintű menedzsmenteket átfogó, komplex megoldási architektúrát ajánl. Az ajánlat a rövid-, közép- és hosszútávú megoldáskezelést módszertanilag nem választja el, azonban a megoldásokban egyértelműen megjelöli a javaslatok alkalmazhatóságának időtávját. Az esszé az elején röviden bemutatja a vízzel mint erőforrással kapcsolatos világszintű jelenségeket, amelyeket – követve a nemzetközi szakirodalmat és szakpolitikai érvrendszert – elsősorban természetes erőforrás-elosztási problémaként jelöl meg. A szerző elfogadja, hogy a víznek közös jellege van, és hangsúlyozza, hogy ezért a felhasználásának mind a társadalmi, mind a gazdasági értéket pontosabban kellene megjelenítenie. A magyarországi vízkezeléssel és vízhálózatokkal kapcsolatos problémákat a legfrissebb és szakmailag releváns források alapján nem minősíti, de azokból kiindulva jut el az integrált, rendszerszintű változásokat felvázoló megoldásrendszerhez állami és egyéni fogyasztói szinten, valamint vízgazdálkodástani és vízszolgáltatás-menedzsmenti szempontból is. A szerző az utolsó szakaszban konkrét javaslatokat tesz a magyar vízgazdálkodás és víziközműszolgáltatás rendszerének átalakítására, rövid távon a szolgáltatók működési költségeinek az állami támogatástól fokozatos mentesítésére, valamint a hosszú távú működést biztosító, konkrét szakpolitikai javaslatokat fogalmaz meg: egy vízkereskedelmi platform és a nemzeti vízalap létrehozásával, valamint a viselkedési alapú vízfelhasználás árazásával kapcsolatban. A tanulmány azonban nem egy teljes körű, minden kérdésre kiterjedő megoldáshalmazként kezelendő: a szerző szándéka szerint egy több mint aktuális vitát céloz elindítani. A felvetett megoldások részletese kifejtése további kutatások, felmérések, fogyasztókat és piaci szereplőket bevonó folyamat eredménye lehet csak, valamint szükség van az ágazatban megjelenő irányítóhatóságok elkötelezettségére is.

Kulcsszavak

Vízgazdálkodás, víziközmű-szolgáltatás, gazdasági szabályozás.

The timely reform of water management and water supply networks in Hungary – A holistic approach with recommendations

Abstract

The study places the systemic problems of water management and water utility networks in a framework that flinches from the global and then reaches the national level. For the identified shortcomings, it indorses an integrated and complex architecture covering different levels of management. The proposed solution does not methodologically separate short-, medium- and long-term resolutions, however, the proposals clearly indicate the timeframe for their applicability. At the outset, the essay briefly presents the global phenomena related to “water as a resource”, which – following established international research and policy arguments – primarily identifies as a problem of a natural-resource distribution. The author accepts that water has a public good character and emphasizes that its use should reflect more accurately both its social and economic value. The study is not critical to the common problems related to water treatment and water networks in Hungary, but based on the latest and professionally relevant sources, it arrives at a system of integrated solutions, which outline the need for system-level vicissitudes both at the state and consumer level, as well as vis-à-vis water management and water service management. In the last part, the author makes concrete proposals for the transformation of the Hungarian water management and water supply. Specific policy proposals are recommended to ensure long-term operation: the creation of a water trading platform and the setting up of the national water fund and introducing a new pricing for behavior-based water consumption. The author also notes that the study does not aim to overarchingly introduce all proposals, but it does propose to initiate the much-needed debate. The elaboration of the recommended solutions to the market failures requires further research, market analysis and stakeholder discussion, and furthermore, the dedication of the involved authorities at the governmental level.

Keywords

Water management, water supply networks, economic regulation.

HÁTTÉR

A víz, ezen belül az ivóvíz az emberi élet alapja, véges mennyiségben rendelkezésre álló életforrás és nyersanyag (*Water in Hungary 2017*). Vízre van szükség a testi

hidratációhoz, az ételek elkészítéséhez, valamint a mindennapi tisztálkodáshoz. A népességnövekedés és az ipari fejlődés következtében – annak ellenére, hogy a víz felhasználásában jelentős javulás figyelhető meg – a vízre

való igény tovább fog növekedni. Azaz, feltételezhető, hogy a korlátozottan rendelkezésre álló erőforrásért való versenyben egyre inkább megfigyelhető lesz az értékülönbözés és az egységnyi vízmennyiséghez rendelhető fizetési hajlandóság egyre szélsőségesebb megjelenése. Valószínűsíthető, hogy a vízárt mint erőforrásért való verseny alakulását a következő tényezők fogják alapvetően befolyásolni: a klímaváltozás, a regionális társadalmi-gazdasági átalakulások, különösen a városiasodás (*Heidari és társai 2021*) és az ezek következtében megjelenő rendszer-szintű szektorális változások (*Khan és társai 2023*).

Az urbanizáció és a vízszolgáltatás egymásra hatásával kapcsolatos kutatások különösen az utóbbi évtizedben, és hangsúlyozottan a kaliforniai és coloradói régió vonatkozásában láttak napvilágot. Ezek a tanulmányok hangsúlyozzák a vízhiány és a népsűrűség kapcsolatát, valamint az ennek következtében szükségessé vált hálózatátalakítási és -terhelési állapotokat (*Heidari és társai 2021*).

A (magyar) vízkészlet az Alaptörvény P) cikk (1) bekezdésének védelme alatt álló természeti kincs (erőforrás), és az egyik elengedhetetlen feltétele az Alaptörvény XXI. cikk (1) bekezdésében biztosított, az egészséges környezethez való alapjog érvényesülésének (*Magyarország Alaptörvénye 2011, Ader 2018*). A vízhez való jog mindenkit megillet, de a víz védelme, a vízkészlet megőrzése és a jövő nemzedékek számára való megővése mindenkinek kötelessége, azaz állami és állampolgári cél (*Szabó 2021*).

A vízhez való társadalmi és politikai hozzáállásnak változatosan megjelenő formája ismert, ugyanakkor kevesen vitatják, hogy globálisan ma már nyugodtan beszélhetünk a vízzel kapcsolatos krízishelyzetről (*Dixon 1990, Glied 2009, Rosa és társai 2019, Fanaian 2022, Grafton és társai 2023*): akár a túl sok, vagy a túl kevés, vagy pedig a túlságosan szennyezett vízről van szó. Az élethez nélkülözhetetlen víz korlátozottan áll rendelkezésünkre, míg a vízfogyasztási korlátozások számos helyen meghaladták a korábban kijelölt határértéket (*Mekonnen és Hoekstra 2016*). Összességében, egy erőforrás-szükséglet figyelembe nem vevő – mely egyben a rossz „gazdaságsszabályozói eszközök alkalmazását” is jelenti, melyet és az érdekeltségalapú finanszírozás hiányát már a 2017-es Kvaszay Jenő Terv is kiemeli (*Kvaszay Jenő terv 2017*) – és értékképző rendszer hiányával jellemezhető, alapvetően alulfinanszírozott vízügyi intézményrendszer és forráshiányos állami irányítású, többszörösen megterhelő támogatási rendszeren alapuló közjókezelés kontraproduktív időszakát éljük. A víz kezelésének, szolgáltatásának közgazdasági alapú megközelítése a sokszínű európai liberalizációs kezdeményezések hatása ellenére Magyarországon nem vert gyökeret (*Belényesi 2011*).

A Földön elérhető víz mennyiségének 1%-a használható öntözésre, locsolásra, ipari és lakossági fogyasztásra. A maradék vízmennyiség 97%-a tenger, 2%-a jégben fagyott állapotban van jelen. Jelenleg a rendelkezésre álló édesvíz kb. 55-70%-át használjuk fel. A világszinten felhasznált – a „felhasználás és az „elhasználás” között statisztikai értelemben van lényeges különbség, a vízmegmaradási szempontból az utóbbi lényegesebb – édesvíz-

mennyiség 69%-át a mezőgazdaság (a fejlődő országokban ez 90%-ot is elérheti), 23%-át az ipar, 8%-át a lakossági fogyasztó használja fel, míg Európában – és Magyarországon is – az ipar a legnagyobb felhasználó (az összes felhasználás 76%-a ipari) (*Fujs és Kashiwase 2023*). A mezőgazdasági vízhasználatra jellemző a pontatlan öntözéses gazdálkodás.

A vízgazdálkodás a természet vízháztartásának a társadalom szükségleteivel való optimális összehangolására irányuló műszaki, gazdasági és igazgatási tevékenység. Ennek része az ivóvíz-szolgáltatás, amelyet a víziközműhálózaton lát el a szolgáltatás nyújtásának a kötelezettje, melyhez kapcsolódó társadalmi felelősségvállalás külön kutatási terület. A szolgáltatásnyújtás jellemzője, hogy a világon szinte mindenütt, vagy a kizárólag állami irányítású architektúrára alapul, vagy a múlt század nyolcvanas éveiben teret nyert privatizáció-liberalizáció-szabályozás utat követte.

Elfogadott szakmai álláspont, hogy globális vízgazdálkodási és vízmenedzsmenttel kapcsolatos tendenciák, a felgyorsult éghajlatváltozás és az évtizedekre visszanyúló rossz vízszolgáltatás-menedzsment döntések következtében szinte minden országban szükség van egy többirányú, több szempontot figyelembe vevő megközelítésre ahhoz, hogy a megnevezett problémák mérséklődjenek és a jövő generációjának érdekei ne sérüljenek (*Tortajada 2010*). Ezt követi az egyik legfrissebb európai nemzeti stratégia, a németországi „Nationale Wasserstrategie” is (*Nationale Wasserstrategie 2023*).

A MAGYARORSZÁGI VÍZGAZDÁLKODÁS ÉS VÍZIKÖZMŰ-HÁLÓZATOK HELYZETÉNEK RÖVID BEMUTATÁSA

Magyarország, bár a közvélekedés szerint nem egy olyan ország, amely vízproblémákkal küzd, valójában a globális és európai víz helyzetnek – így a vízárt folytatott versenynek – igen kitett, a vízgazdálkodás számos ponton problematikus (pl. a talajvízszint süllyedése, csapadékhiányos időszakok, a vízvisszatartás hiányzó létesítményei) (<https://novekedes.hu/elemzesek/politikailag-is-tabutematkat-feszeget-az-idei-sulyos-aszaly>). Az ország területe időbeli és térbeli szempontokat figyelembe véve vízgazdálkodási szempontból heterogén; és míg Magyarországon a természetes vízelegyensúly pozitív – 56 000 m³ csapadékkal 48 000 m³ elpárolgás állt szemben 2017-ben, mely arány az egyre hosszabb aszályos időszakoknak köszönhetően, valószínűleg rosszabb (*Water in Hungary 2017*) –, a magyarországi természetes vizek (*Water in Hungary 2017, https://korkorogsgazdasag.hu/tudtad-e/honnan-ered-a-hazai-ivoviz/*) 90%-a nem az országhatárokon belül ered, és tekintettel arra, hogy a folyókból elvont víz az alsó szakaszokon élőket megfosztja a fenti szakasz „vízmennyiség-től”, a vízgazdálkodás nemzetközi-diplomáciai oldala Magyarországon kifejezetten fontos.

A víziközmű-szolgáltatás gerince az országos, de nem egybefüggő csőhálózat, amely egyben az ágazat hálózatos iparági jellegét is megadja. Összevetve a többi hasonló tulajdonságokkal rendelkező ágazattal – gáz, villamos energia telekommunikáció, vasút, postai szolgáltatások –, az víziközmű-ágazat magasabb közműadó-terhet visel, mivel

az adó alapja a közművezeték hossza, az adó fedezetét biztosító árbevétel azonban nem ezzel, hanem az értékesített szolgáltatás/termék árával és mennyiségével arányos. Az ágazat bevételekiesését jól szemlélteti a MAVÍZ felmérése (*KPMG-MaVíz 2015*). A magas állandó költségek és a szabályozott árak következtében pedig az ágazat profitabilitása és pénzügyi mozgástere komoly keretek közé van szorítva. Ez az ágazat nagy részében folyamatos állami forráspótlást, innovációs határokat és szűk szolgáltatási-értékesítési kereteket szab az ágazat szereplőinek (*KPMG-MaVíz 2015*).

A vízszolgáltatásért felelős csőhálózatot, azaz a vízi-közműhálózatot számos kritika éri, pl. az, hogy a hálózat magas PVC és azbeszttartalma, a csőhálózati kötések elavultsága, a talaj minősége stb. miatt a hálózatok kiemelten kockázatosnak minősülnek. Az átlagos hibasűrűség 1,16 db/km, az átlagos felújítási ciklus 271 év, az átlagos hálózati veszteség és értékesítési veszteség is magas (*Víz Koalíció 2022*). A jelenlegi működési rendben, a hálózat működése-működtetése nem fenntartható. A 1828/2021. (XI. 30.) Korm. határozattal elfogadott Nemzeti Víziközmű-közszolgáltatási Stratégia (*NVKKS 2021*) is megállapította, hogy az ivóvízellátó-rendszerek több mint fele túlnyomóan kockázatos állapotú, egynegyede pedig a műszakilag hasznos élettartamon túl van. A felújításokhoz és a rekonstrukciókhoz fedezetre van szükség. A víziközmű vagyion működése és helyreállítása egyre nagyobb finanszírozást igényel. A NVKKS egyik legfontosabb célkitűzése szerint a hálózatok karbantartására és felújítására pénzügyi forrást kell találni, mert az nem megoldott. A fedezetbiztosító tervet 2021. december 31-ig kellett volna kidolgozni (*NVKKS 2021*).

Figyelembe véve a 2024 februárjában megjelent ivóvíz-gazdálkodási jelentést az Állami Számvevőszéktől, a magyarországi ivóvízellátó-hálózatokról időszerű, friss és részletes elemzés – a vízbeszerzésre, víz kezelésére, a víz elosztásra és -tárolására vonatkozó felmérés – kevéssé érhető el (*ÁSZ-jelentés 2024*). Kivételként lehet hivatkozni a MaVíz és a KPMG 2015-ös anyagára, amely néhány megállapítása 2024-re már valószínűen idejétmúlt (*KPMG-MaVíz 2015*). Ezen túlmenően, helyi vagy térségi víziközműrendszerekre vonatkozó felmérések vagy szakmai tanulmányok nem ismertek. A hiányt csak részben pótolja az egyébként vízgazdálkodási szempontból meghatározó, és korábban hivatkozott Kvassay Jenő terv és a kapcsolódó kommentárok (*Kvassay Jenő terv 2017*). A Víziközműszolgáltatásról szóló törvény (*2011. évi CCIX. törvény*) rendelkezése szerint a víziközmű-rendszerek vagyoneértékességét – a hálózatok korának, újraelőállítási költségének és állagmutatójának meghatározását – 2015. december 31-ig kellett volna elkészíteni. Erre nem került sor. Annak ellenére, hogy a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) 2013 óta kér adatszolgáltatást és kezeli a felügyelt víziközmű-szolgáltatókhoz tartozó hálózatok mennyiségi, infrastrukturális, víziközmű-rendszerekre jellemző költségeket, az ivóvíz- és szennyvízhálózatokra összességében jellemző a megbízható adatok hiánya. A víziközmű-szolgáltatók által közérdekből közzéteendő adatok körét meghatározó 24/2013. (V. 29.) NFM rendelet előírja, hogy a víziközmű-szolgáltató által működtetett honlapon közzé kell tenni pl. a műszaki adatokat is,

„különösen a vízbázisok kapacitását, a kitermelt víz mennyiségét, az átvett víz mennyiségét, az értékesített ivóvíz mennyiségét, a hálózati vízvesztésüket – azaz betáplált és a felhasznált vízmennyiség különbözete –, a víziközműhálózat hosszát, a meghibásodások számát” (*Víz Koalíció 2022*). Azonban településenkénti lebontású elemzést a szolgáltatói, aggregált adatok alapján nem lehet elvégezni. Ebben a tekintetben hiánypótló a Víz Koalíció 2022-es, közérdeklő adatigénylés alapján készített kutatása (*Víz Koalíció 2022*).

A törvényben előírt gördülő fejlesztési terv a vízi-közmű-szolgáltatás hosszútávú biztosíthatósága érdekében készített, tizenöt évet átölelő beruházási és felújítási terv, amelyet évente felülvizsgálnak. A tervek végrehajtása hiányos (*Víz Koalíció 2022*).

A közelmúltban országszerte több helyen, visszatérően is vízhasználati korlátozást rendeltek el az egyes önkormányzatok a víziközműhálózati irányítási területükön (*Qubit 2022*). Az ismert indokolások alapján, az érintett településeket kiszolgáló regionális vízművek rendszerei maximális kapacitással működve sem bírták a jelentősen megnövekedett vízigényt, „az esti csúcsidekban így nyomásesés, illetve a magasabban fekvő területeken átmeneti vízhiány lépett fel” (*Qubit 2022*). Ez nem csak magyarországi probléma, hasonló jelenséggel küzdenek Európában máshol is: pl. Spanyolországban (Katalóniában, Murciában), Romániában, Olaszországban is. A víziközműhálózatok „minősége” a csőhálózat anyagának eltérő hasznos élettartama miatt (30-100 év) országos szinten heterogén, de alapvetően nem kielégítő. A hasznos élettartam utáni időben a meghibásodási mutató magasabb (*Víz Koalíció 2022*).

A víziközműhálózat és annak üzemeltetése állandó költsége magas (*KPMG-MaVíz 2015*), és egyben az egyik legenergiaigényesebb gazdasági ágazat is, az energiaköltségek – a személyi költségek után, második legjelentősebb tételként – kb. az árbevétel 30-45%-át teszik ki. Az összes, vízszolgáltatáshoz tartozó energiafelhasználás közül a víz szivattyúzásával kapcsolatos energiafelhasználás a legjelentősebb, ez nem ritkán a költségek 80%-át is elérheti. A szivattyúzás mellett a gravitációs vízkivételzés is fontos, de a hálózatban a nyomásegyensúlyt a szivattyúzás biztosítja. A szennyvíztisztítással kapcsolatos energiafelhasználás túlnyomó része pedig a szivattyúzással, a levegőztetéssel és az iszapkezeléssel kapcsolatban realizálódik (*Copeland és Carter 2017, U.S. Department of Energy 2006*). A víziközműhálózatok energiafelhasználásának javulása elképzelhetetlen a vízhasználat átalakulása nélkül, míg a fenntartható vízhasználat nehezen elképzelhető a relatív energiafelhasználás csökkenése és/vagy hatékonyabb energiafelhasználás nélkül (*Moazeni és Khazaei 2021*).

A szolgáltatók vízszolgáltatási hatékonyságát a hálózati vízvesztéssel és értékesítési veszteséggel is lehet jellemezni. Míg előbbi egyértelműbb, az utóbbi szűkebb kategória, mert magában foglal minden olyan vízmennyiséget, amelyért a szolgáltató nem kap valamilyen ellentételezést. Másrészt, a számlázott engedélyezett fogyasztás és az elosztó hálózatba betáplált tényleges vízmennyiség hányadosa. A legtöbb magyarországi szolgáltató esetében az értékesítési veszteség meghaladja a hálózati vízvesztés mértékét. A magyarországi hálózati vízvesztés (a

vízvezetékben eltűnő, elcsepegő vízmennyiség mellett ide kell sorolni a nem engedélyezett vízfogyasztást, a mérési pontatlanságokat, a szivárgást, valamint a csőtörésből származó vízvesztést (is) még mindig 20% fölötti, ám egyes helyeken nem ritka a 60%-os vízvesztés sem. A szolgáltatói szintű hálózati veszteségben első helyen a Borsodvíz Zrt. (47%) áll, míg a legalacsonyabb vízvesztéssel a Soproni Vízmű Zrt. és a Délzalai Víz- és Csatornamű Zrt. büszkélkedhet (*Víz Koalíció 2022*). A hálózati felújítások aránya 0,2% alatti mind a víz, mind a szennyvízhálózatban (*Víz Koalíció 2022*). Az ágazat finanszírozása és a folyamatos – energiahatékonysági – fejlesztések, karbantartások biztosítása a jelenlegi jogszabályi keretek mellett nem lehetséges.

2024. január 1-től a magyarországi nem lakossági vízdíjak országosan egységes szintre kerültek egy minden szolgáltatót homogén módon kezelő stratégiai változás következtében, a korábbiakhoz képest magasabb nominális értéken: ettől a naptól nettó 576 forint köbméterenként a fogyasztásarányos ivóvíz díja, illetve nettó 881 forint lett a szennyvízelvezetés díja (25/2023. (XII. 13.) EM rendelet). Az új szabályozással párhuzamosan felállították a Víziközmű-fejlesztési és Ellentételezési Alapot is, amelybe a szolgáltatói befizetés jogszabályi kötelezettség (24/2023. (XII. 13.) EM rendelet). Az Alap redistribúciós forrásként működik, az Alapból történő ellentételezésre való jogosultság megállapítása során figyelembe vett és elismert indokolt költség a víziközmű-szolgáltató engedélyes tevékenységéhez kapcsolódó a) anyagjellegű ráfordítása, b) személyi jellegű ráfordítása, c) egyéb ráfordítása, valamint d) az üzemeltetésében lévő víziközművek fenntartásához szükséges összeg. Az ellentételezést azon szolgáltatók vehetik igénybe a jogszabály szerint, amelyeket az egységesített szabályozás negatívan érintett. A technikai szabályokat, és ténylegesen az Alapkezelést a Nemzeti Vízművek Zrt. határozza meg, illetve végzi.

A fentiekkel együtt, a magyarországi lakossági és nem lakossági szolgáltatási díjak nem elegendők a vízszolgáltatás előállításának valós és indokolt költségeinek a megtérülésére.

A VÍZGAZDÁLKODÁST ÉS A VÍZSZOLGÁLTATÁST KÖZVETLENÜL ÉRINTŐ PROBLÉMÁK

A kormány 2017-ben közzétett Kvassay Jenő terve is felismerte, hogy a vízgazdálkodás csak akkor kezelhető és tervezhető felelősségteljesen, ha pontosan ismerjük „*azokat a problémákat és tendenciákat, amelyek jellemzik, illetve befolyásolják a hazai vízgazdálkodást*” (Reich 2019). Kijelenthető, hogy a szektort körülvevő problémák nem csökkentek, sőt, a tendencia még inkább romlott. Az éghajlatváltozás okozta felmelegedés következtében a szélsőséges időjárási viszonyok gyakoribbá váltak (aszályok, ár- és belvizek) és ezáltal kiszolgáltatottabbá váltunk a külföldről érkező vízmennyiség vonatkozásában; a vízáteremtés és víztározás jelentősége nőtt, míg az ezzel kapcsolatos infrastruktúra állapota nem javult. A vízkormányzást segítő hálózatok és medrek állapota – már 2013-ban „jelentősen leromlott” volt (Reich 2019) – nem javult. A talaj szikesedése folytatódott, a felszín alatti vizek hasznosíthatósága az Alföldön tovább csökkent. A terv végrehajtását

segíteni hivatott *1110/2017-es kormányhatározatban* foglaltak közül pedig szinte egyik célkitűzés sem valósult meg a mai napig. Összességében, a vízgazdálkodási kérdések a víziközműrendszerektől külön közigazgatási irányítás alatt vannak, összehangolt, hosszútávú gondolkodást tükröző ágazati irányításról nem beszélhetünk. Ugyanis a vízgazdálkodás alapvetően a Belügyminisztérium, az ivóvizet szállító hálózatok üzemeltetése az Energiaügyi Minisztérium és az állami tulajdonban lévő víziközmű-szolgáltatók pedig a MEKH, Nemzeti Vízmű és Energiaminisztérium közös kezelése és irányítása alatt vannak.

A magyarországi vízkészletvesztés az elmaradott állapotú infrastruktúra következtében jelentős. Hasonlóan a fentiekhez, már a 2013-ban tervezett Nemzeti Vízstratégia-ban megjelent, hogy a „*(...) vízkészlet-gazdálkodás részeként és a szolgáltatási biztonság érdekében a települési víziközmű és mezőgazdasági vízszolgáltató rendszerek előregedett állapotán változtatni kell, a rendszerek hosszú távon is műszakilag megfelelő állagmegóvása érdekében a szolgáltatási díjképzést és felhasználást szabályozni és ellenőrizni kell*” (Nemzeti Vízstratégia 2013), azaz a víztározói, elosztói és gyűjtői hálózatot fejleszteni kellett volna. Erre nem került sor.

Mint már megemlítésre került, a természetes vizek védelmével, az állapotuk javításával és megőrzésével kapcsolatos feladatok ellátása az állami és helyi igazgatásért felelős intézmények, valamint a vizek hasznosításával járó jogokat gyakorló, kötelezettségeket teljesítő, illetve a vizekbe bármilyen tevékenységgel közvetlenül vagy közvetve szennyvizet, vízszennyező anyagot kibocsátók köteleessége. Ezt az összetett kockázatviselési és felelősségi keretrendszert a „szennyező fizet” elv alapján a magyar jogrendszerben a vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény és a vízkészletjárulék kiszámításáról szóló 43/1999. (XII. 26.) KHVM rendelet rendezte (2016. október 1-től a vízkészletjárulék kiszámításáról szóló 43/1999. (XII. 26.) KHVM rendeletet módosította a 34/2016. (VIII. 2.) BM rendelet, valamint részben a 123/2020. (IV. 16.) Korm. rendelet a vízkészletjárulék-fizetési kötelezettség veszélyhelyzet idején történő teljesítéséről), ugyanis a jogalkotó szándéka szerint a fenti beavatkozások ellenőrzésével kapcsolatos feladatok ellátásának javára és az ezzel összefüggő társadalmi ráfordítások megtérülése érdekében a külön jogszabályokban meghatározott esetekben járulékot, érdekeltségi hozzájárulást vagy díjat kell fizetni. Így a vízhasználó a vízjogi létesítési, üzemeltetési engedélyben leköötött vagy engedély nélkül felhasznált, továbbá az üzemi fogyasztó a ténylegesen igénybe vett vízmennyiség után ún. vízkészletjárulékot köteles fizetni. A vízkészletjárulék, valamint a vízdíjak azonban nem fedezik még az országos hálózat állagmegóvási költségeit sem.

Európában és Magyarországon is – mint a fejlett országokban szinte mindenütt – az ipar a legnagyobb vízfelhasználó. Az ipari túlfogyasztás jelentős, a lakossági fogyasztás tovább racionalizálható. A virtuális vízkereskedelem, vagy a nemzeti vízlábnyom – vagyis az, hogy egyes régiók mennyi vizet „exportálnak”, és mennyit „importálnak” bizonyos termékeken, pl. élelmiszeren, ipari terméken, terményeken keresztül – becslései alapján Magyarország a világ tizenötödik legnagyobb vízexportőre. Élelmiszerbiztonsági

szempontból ez aggasztó, mert kitétek vagyunk vízbővebb területek gazdasági gondolkodásának.

Ugyan az elmúlt húsz évben, a Vízkeretirányelv (*Víz Keretirányelv 2000*) végrehajtása következtében a partmenti és édesvízi ökoszisztémák állapota sokat javult, mint ahogy javult a társadalom környezettudatossága is, a társadalom vízhez való viszonya tovább fejleszthető. Ahhoz, hogy hosszú távon is fenntartható vízgazdálkodást biztosítsunk, az öko-hidrológiai és természetalapú megoldásoknak – körforgásos gazdasági keretrendszereknek –, a vízfelhasználás viselkedési alapon (*Theory of Planned Behavior*) (*Koop és társai 2019*) való változásának előtérbe kell kerülni. A felhasználóknak a viselkedési alapon való vízfogyasztási változások alatti megítélése a tényleges és a ténylegesen csökkentett vízmennyiséggel együtt járó felhasználást jelenti. Ez a víz felhasználásához kapcsolható egyéni felelősségi és kockázati értékelésnek egy kipróbált, tesztelt jogszabályi felügyelete: a tudatosan és szisztematikusan fenntarthatóbb vízfelhasználást produkáló fogyasztók adó-, kedvezmény-, járulékelengedés stb. alapú jutalmazását, vagy a túlzó, pazarló, környezetre nem megfelelően figyelő felhasználók bírság, korlátozás, klaszteresítés stb. büntetését.

A VÍZ ÉRTÉKE ÉS AZ ÉRTÉKET KEZELŐ PIACOK JELENTŐSÉGE

Az Alaptörvényben meghatározott és a tanulmány elején bemutatott állami és állampolgári felelősségi rendszer elenére elmondható, hogy az országos vízkészletet sem kezelik fenntartható módon sem az ipari, sem a mezőgazdasági, sem pedig a lakossági végfogyasztók. A tanulmány szerzőjének az véleménye, hogy ennek az egyik fő oka pontosan az alapjoggal kapcsolatos, tradicionálisan túl szigorú értelmezés: a víz valós értéke kialakulásának, valamint a piaci folyamatok megjelenésének, és így az értéktranszfer elindulásának az akadályozása. Mindez annak elenére fogant meg a magyar vízgazdálkodásban és víziközműszolgáltatásban, hogy az ENSZ már 1992-ben elismerte, hogy a víz ugyan közjó, de mind társadalmi, mind gazdasági értékkel rendelkezik (*The Dublin Statement 1992*). Ennek – és a *patchwork*-szerű állami *command-and-control* irányítási rendszernek, ahol a döntéseket és az utasításokat fentről lefelé, hierarchikusan hozzák meg – az eredménye, hogy az országos vízbázis megőrzéséhez és növeléséhez szükséges beruházások finanszírozása, tökéhiány miatt, nem megoldott.

A folytatódó globális népességnövekedés miatt a víz-igény, már középtávon is az egyre növekvő vízfogyasztás és a vízzel való kereskedelem növekedése várható. Az európai államokban a vízzel való kereskedelem elképzelhetően egy fenntarthatóbb, ellenállóképesebb működési forma felé tartanak: a digitális újítások, újszerűbb finanszírozási mechanizmusok, nemzeti és európai támogatási formák alkalmazásának köszönhetően. A legfrissebb előrejelzések szerint a régió piaca 2030-ig évente 2%-kal fog növekedni, a jelenlegi 60 milliárd USD-ről 75 milliárd USD-re (*Bluefield research 2024*). A növekedés pénzügyi háttéréhez elengedhetetlen lesz a Kohéziós Alapok, a Helyreállítási és Ellenállóképességi források, valamint a magánbefektetők hozzájárulása.

A növekedő népesség közvetlenül a felhasznált víz mennyiségének a növekedéséhez is vezet, hiszen a mezőgazdasági, ipari, kommunális vízigény is növekszik, miközben a megnövekedett energiaigény szintén nagyobb vízigényt jelent (közvetlenül az erőművekben, közvetve pedig pl. az akkumulátorok gyártása során). A vízigény globális szinten azonban a népességarányhoz képest nagyobb arányban növekedett: míg utóbbi megháromszorozódott, a vízfelhasználás meghétszereződött (*Ellensúly 2019*). Ez egyelőre meg nem oldott erőforrás-szűkösséghez, piaci problémákhoz, hálózatfenntartási hiányosságokhoz vezetett. A vállalatokat érintő makroszintű problémákat kiegészítik az egyéb szabályozási kihívások: az Európai Zöld Megállapodás (*Zöld megállapodás 2019*), és különösen annak részeként a települési szennyvízkezelési szabályozások (*91/271/EGK irányelv*), amelynek a felülvizsgálatára tett bizottsági javaslatot (*91/271/EGK irányelv átdolgozási javaslat 2024*) 2024 január végén fogadta el a Parlament és a Tanács. Ezek a szigorúbb ellenőrzési és alacsonyabb károsanyag-tartalmat előíró jogszabály-módosítások szintén befektetési és stratégiaalkotási feladatok elé fogják állítani a szolgáltatókat és felügyeleti hatóságokat.

JAVASLATOK

A szakpolitikai tervezésnek és irányításnak el kell kezdeni egy új, a meglévő működési állapotokat figyelembe vevő, átgondolt szabályozási és finanszírozási rendszer kialakítását. A magunk előtt tolt, ún. *legacy* (*megörökölt*) működési rend fenntarthatatlan, mind pénzügyileg, mind a környezet szempontjából.

Egy ilyen ágazati stratégiának egyik eleme egy hosszútávú, vizsgálati rendszereket kezelő beruházási stratégia megalkotása lehetne, amelynek javaslatai minimum a szükséges infrastruktúrafejlesztések költségeit fedeznék, összhangban az állami beruházások rendjéről szóló *2023. évi LXIX. törvény*, miszerint a beruházásokért felelős miniszter felügyelete mellett, és különösen az Állami Beruházási Érdekegyeztető Tanácsban, amelyben a Nemzeti Vízművek Zrt. is helyet foglal (*2023. évi LXIX. törvény*).

A stratégiának, amely egyértelmű és kompromisszummentes eleme a mindenkori vízhasználók vízhez való hozzáféréseinek államilag felügyelt (de nem irányított) érték- és viselkedésalapú árazással módosított keretrendszere, a lakossági, ipari és mezőgazdasági vízhasználat hatékonyságának javítása, valamint a vízkezelés, vízelosztás és vízbázis-megóvás fenntartható voltának és az ehhez szükséges integrált vízgazdálkodás feltételeinek a megteremtése. Egy ilyen paradigmaváltás, és a víz árazásában a szabadpiaci mechanizmusoknak a pontosabb megjelenése politikailag kényes kérdés, hiszen a közhiedelem továbbra is az, hogy a vízhez mindenkinek joga van, és leginkább szinte ingyen. Ez a vélekedés gazdaságilag indokolatlan, jogilag hosszú távon kivitelezhetetlen, szakpolitikai szempontból pedig fenntarthatatlan. Egy jövőbe tekintő, de a jelen problémáit is kezelendő ágazati politika központi eleme kellene, hogy legyen a fentiekben kifejtett, a víz gazdasági és társadalmi értékét megfelelően és dinamikus módon kezelő árazási rendszer, amelyben megmaradna az állami felügyelő szerepe, hiszen a víz közjó jellegéből fakadóan ez kiemelten fontos. Erre válaszolva és a szakpolitika-alkotással párhuzamosan a szolgáltatóknak olyan működési környezetet

kell kialakítani a szolgáltató vállalatok számára, amely a legoptimálisabb kombinációja lesz a hatékonyabb vízhasználatnak, az árazásnak, a támogatási formáknak, hálózatmegóvási és -fejlesztési terveknek és azok kivitelezésének, valamint a lehető legnagyobb arányú magántőke-bevonásnak. Érdemes azon is elgondolkozni, hogy vízkészlet-használati járulékalig észrevehető nagysága hogyan tükrözhetné jobban a nemzeti vízkészlet tényleges értékét. Németország 2023 tavaszán olyan stratégiai tervet készített a nemzeti vízgazdálkodási és -szolgáltatási iparra, amely 78 konkrét – finanszírozási és szabályozási – tervvel készül a teljes szektor revitalizálására (*Nationale Wasserstrategie 2023*). Ez a koncepció mind a horizontális, mint a vertikális infrastruktúrába való befektetések beindítását és méretgazdaságossági alapú megközelítését magában foglalja.

Amennyiben adat- és tudásalapon akarjuk megközelíteni az elmúlt harminc-nyolcvan év vízgazdálkodás-javítási próbálkozásait, akkor alapvetően két hosszabb távon is értelmezhető megoldást tartalmazó lehetőséggel számolhatunk: a víz(jog)nak a decentralizált és piaci alapú hatékonysággeneráló kezelése (vízpiaci architektúra, *water markets*), valamint a vízfelhasználás fogyasztás- és fizetőkészség-központú újraelosztási rendszere (vízalapok működése, *water funds*). Annak ellenére, hogy ebben a közleményben egyik opciónak a tudományos igényességet teljesen kielégítő részletes kifejtésére nincs lehetőség, röviden utalok a javaslat koncepcionális-történelmi hátterére.

A vízzel való kereskedelem, a víznek vagy pontosabban az ahhoz kapcsolódó valamilyen természetű és tartalmú jogoknak az árupiacokra való bevitele – azok kialakítása –, a „vízpiacok létezése” nem tekinthető sem újszerű (*Garrick és társai 2023*), sem pedig alapjogi, az Alaptörvénybe iktatott rendelkezéseket (P) cikk, XX. cikk, XXI. cikk.) érdemben zavaró jelenségnek (*Fodor 2013*). A vízzel való kereskedelem Ausztráliában, az Egyesült Államokban, Nepálban, Ománban, Spanyolországban évszázados hagyománya van. Azonban annak ellenére, hogy több évtizedre visszamenőleg a vízgazdálkodás (*Howe és társai 1986*), a vízigény, vagy a kereslet és kínálat alapú hatékonyabb vízhasználat-optimalizálást sokan a vízpiacok elterjedésétől várták, egyelőre Európában minimális sikertörténete van a vízkereskedelemnek. Úgy vélem, ennek oka elsősorban az aktuálpolitikai haszonban keresendő: a „vízzel való játszás” soha nem kifizetődő. Például az olasz vízszolgáltatás privatizációjával kapcsolatos népszavazást megelőző propaganda eredményeként a szavazók 55%-a tette le a voksát a vízszolgáltatás magánkézbe adása ellen 2011-ben, vagy megemlíthetnénk a 2012-ben indult európai civil kezdeményezést, mely szerint a “Water and sanitation are a human right! Water is a public good, not a commodity!” (Az ivóvízhez és a higiéniás létesítményekhez való hozzáférés emberi jog. A víz közjó, nem áru!) (*Right2water 2012*). A tényalapú szakpolitika-tervezés és -végrehajtás azonban megnyugodhat: a víz kereskedelme közgazdaságilag, fenntarthatósági és környezetvédelmi szempontokat is szem előtt tartva egy releváns alternatíva a létező rendszerekkel szemben. A vízzel való kereskedelmet a vízhasználat és környezeti hatások okozta hiányosságokra való megoldásként többen támogatják (*Belényesi 2013*).

A fentiek fényében és a szakpolitikai hasznosíthatóságot szem előtt tartva, javasolt egy árutőzsdeként működő nemzeti víztőzsde vagy vízkereskedelmi platform bevezetése. A hazai bevezetést számos nemzetközi példa alapján el lehetne kezdeni, de leginkább az ausztráliai víztőzsde sikeréből kellene táplálkozni. Ennek alapja az ún. water trading rights (vízzel való kereskedésre való jogosultság), amely lehetővé teszi a jogok időszakos és visszafordíthatatlan értékesítését. Az évtizedek óta működő vízpiac legutóbbi, komplex reformját 2023 decemberében fogadta el a törvényhozás. A reform, többek között, újabb jogosultságokkal ruházta fel az ausztrál versenyhatóságot és a vizek fenntarthatóságát felügyelő hatóságot is (*Water Amendment (Restoring Our Rivers) Bill 2023*). A kereskedelmi platform lehetőséget biztosít az esetleges regionális terjeszkedésre és más tagállamokban létrehozandó platformok integrációjára. Egy ilyen módon felügyelt kereskedelmi térnek számos alapkritériumnak meg kell felelni: állami felügyeleti rendszer, az árak és kereskedelmi mennyiségek átláthatósága, a kereskedelmi jogosultság és kereskedelmi kvóták természetben is megjelenő – valós vízkivitelezés lehetősége – karakterének kontrollja, valamint, mint minimumkövetelmény, a különböző vízforrásokhoz (rétegvíz, víziközműhálózat, folyóvíz stb.) kapcsolódó jogok kereskedelmi differenciálása.

A Nemzeti Vízalap

A stratégia egyik központi eleme lenne egy – a frissen felállított Felújítási és Ellentételezési Alaptól eltérő elveken működő, valamint – ténylegesen is a hálózatfenntartást célzó Nemzeti Vízalap (NVA) létrehozása, amely egyszerre magán- és állami felügyelet mellett tervezné és hajta(t)ná végre a szükséges állagmegóvási fejlesztéseket, és amennyiben arra lehetőség van, a jövőbiztos kiegészítő beruházásokat is. Az NVA-ba minden jelentősebb – nem csak a jogszabályból ismert „üzemi fogyasztó” értendő ez alatt (*1995. évi LVII. törvény, 15/A §. (2b) bekezdés*) – vízhasználónak befizetési kötelezettsége lenne, úgy, hogy kiválthatná a jelenlegi adó- és egyéb járulékainak, valamint a vízhasználattal kapcsolatos befizetéseinek egy előre meghatározott részét azzal, hogy ebbe az alapba fizetne. Ezt az összeget kiegészítené egy évenkénti, inflációkövető növekedéssel emelt összeg. Az így befizetett összeget az alapkezelő, részben mint tőkét kezelné és befektetné, részben kötelezően – előre meghatározott mértékben – hálózatmegóvásra és felújításra fordítaná. Amennyiben a befektetett összeg egy előre meghatározott összeghatár feletti eredményt produkálna, az alapba befizetők a nyereségből közvetlenül is részesednének. Az alap kezelésének, a befektetési lehetőségeknek, a tervezésnek, végrehajtásnak, ellenőrzésnek a részletei az állami *command and control* és a lazább árszabályozás, valamint piaci mechanizmusok közötti hibrid forma lenne. A szabályozás és piaci mechanizmusok kettősségének a keveredése megjelenik több EU-s és nemzeti stratégiában is, pl. a *Zöld megállapodás (2019)* egyes tervezeteiben, vagy a német nemzeti stratégiában is (*Nationale Wasserstrategie 2023*). Ezáltal az állam megfelelő súllyal jelenik meg, úgy is mint a víz – közjó, mint állami tulajdon – képviselője (*Kvassay Jenő terv 2017*).

A legnagyobb ipari és mezőgazdasági felhasználók által fizetett vízkészlet-járulékon felül befizetett hozzájárulás lenne az alapja, melynek célja többirányú (kutatás-

fejlesztés-innováció, hálózatjavítás). Az alap nyereségéből, bevételeiből (milyen céllal) részesüljenek a befizetők is, amennyiben hatékonyabban használnak (csökken a vízfelhasználásuk). Az Alap feladata, hogy pénzügyi szolgáltatóként kezelje, újra elossza és fejlesztésekbe csatornázza a befizetett összeget. Az alapot kezelő lehetne a Nemzeti Víziközmű, vagy egyéb, az ágazat szereplői által kijelölt intézmény. Sikeres alapkezelés esetén a befizetők is részesülnek az Alap hozamából és a kvótaárból. Hasonlóan a víztőzsdéhez, középtávon elképzelhető a magyarországi alapján működő regionális alapok integrációja. Az Alapot felügyelő szerv – a MEKH-hel közösen, a BM-mel koordinálva, szakmai és tudományos előrejelzések alapján – kezeli a rendelkezésre álló vízmennyiséget; amennyiben szükséges, kijelöli a vízhasználatot, és korlátozott árszabályozó szerepet tölt be. Ezáltal az állam megfelelő súllyal jelenik meg, úgy is mint a víz – közjó, mint állami tulajdon – képviselője (*Kvassay Jenő terv 2017*). Erre azért van szükség, mert ha emelkedik a víz ára, akkor emelkedik a *downstream* (vízigényes, a vizet az előállítási-termelési folyamatban felhasználó mezőgazdasági) termények ára: gabona, szója, kukorica stb.

A NVA egy olyan „vízgazdálkodási és vízszolgáltatási integrált alap” lenne, amelynek fő tervezett felhasználási céljai a következők: a hazai vízbázis megmaradásának és javulásának biztosítása; a vízgazdálkodáshoz kapcsolódó infrastruktúra-fejlesztés (ez rövid távon lényegében a víziközműhálózat karbantartását jelenti); a mezőgazdasági vízhasználat racionalizálásának elősegítése és a magyarországi termőtalaj állapotának megtartása és javítása; a lakossági vízhasználók támogatása, valamint a lakosság és a víz viszonyának a javítása. Az alap létrehozása szinte azonnali szerkezeti változást eredményezne, ugyanakkor a befektetések kifutása és a potenciális profit realizálása néhány év távlatából értelmezhető.

Vízkereskedelmi platform

Kevesen vitatják, hogy a víz használati vagy tulajdonjogának (*Belényesi 2019*) fogyasztók közötti átruházása növeli a fenntarthatóságot és hatékonyabb erőforrás-kihasználáshoz vezet (*Dalin és Rodríguez-Iturbe 2016, Szilágyi és társai 2017, Erdős 2019*). A víz tulajdonjogának értelmezése jogi-gazdasági kérdés. A vízhez kapcsolódó tulajdonjog megjelenése és annak átruházása része a vízpiaci liberalizációnak, hiszen a folyamat egyben értékmegjelenítő alaptétel is. Jelen tanulmány keretein belül nincs lehetőség kitérni a vízhez kapcsolható nem állami jogoknak az egyébiránt érdekes területére, így célszerűségi szempontból mellőzöm a forgalomképes – korlátozottan forgalomképes – forgalomképtelen megkülönböztetéseket is. Az azonban megállapítható, hogy a víznek mint vagyontárgynak a pontos kereskedelmi jogi rendezése hiányzik. Magyarországon a vízhez kapcsolódó jogoknak a kérdését rendezte még a *2011. évi CXCVI. törvény* a nemzeti vagyonról is. Ugyanakkor számos nemzetközi példa ismert a víz kereskedelmét érintő megoldásokat illetően, akár helyi, akár régiók közötti kereskedelmet illetően: Ausztrália, az Egyesült Államok, Egyesült Királyság, Chile, Törökország, Izrael – mindegyik államban létezik valamilyen formája a vízzel kapcsolatos használati vagy tulajdonjogok önkéntes átruházásának. Az ausztráliai Murray-Darling-Basin szabályozási keretrendszeréből

kiinduló gondolkodás Indiában az elmúlt néhány évben vetette fel a víz egyik fajtájának a kereskedelmét: a szennyvíztőzsde létrehozását (*Niti 2024*).

A pontos és átlátható kereskedelmi adatok és az ellenőrzött vízfelhasználást érintő jelentések hiányában a virtuális vízkereskedelem globális méretét nehéz pontosan meghatározni, léteznek becslések a világpiacon változásokkal kapcsolatosan: a fentebb említett vízimport és -export arányt is figyelembe vevő számítások szerint a 21. század hátralévő részében a dél-amerikai La Plata folyó és a Nílus területe lesz a legnagyobb vízimportőr régió, míg a Közel-Kelet, India, és Afrika más része lesznek a legnagyobb vízexportőr régiók (*Graham és társai 2020*) a globális vízkereskedelem mérete akár meg is háromszorozódhat a 21. század végére (*Food and Agricultural Organization 2018*).

A Nemzeti Víztőzsde alapja lehet a vízjogi engedély (*water allocation, water appropriation*), amelynek előnye, hogy egy piaci alapokon működő hatékony vízelosztási módszer, és alkalmas a vízhiány időbeli és térbeli elosztásának kiküszöbölésére. Ennek a társadalmi hozadéka, hatékonyság-elosztó hatása, klímaváltozás-kezelése, és -elhárítása kiemelendő. A vízjogi jogosultságok kereskedelméhez képest eltérő, de hasonlóan piaci alapú tőzsde az amerikai környezetvédelmi ügynökség által felügyelt ún. „vízminőség-kereskedelem” (*water quality trading*), amely közelebb áll az EU szén-dioxid kvótakereskedelméhez (*EPA 2019*). A kereskedelmi platform vázlatos működése a vízjogi engedély és/vagy „vízkvóta” adás-vétele, kölcsönbe vétele, határidős vétele lenne, a más tőzsde működéséből ismert ideiglenes (éves, negyedéves) vagy végleges (teljes hatású, végleges) ügyletekkel. Hasonlóan az szén-dioxid kvóták kereskedelmének a kereteit megadó European Trading Scheme-hez, állami felügyeleti szerep (mert szárazság idején túl magasra szökhet az ár), a tranzien időszak után a piac válna ármeghatározóvá.

A globális tapasztalatokra és a piac növekedését figyelembe véve kijelenthető, hogy a magyarországi integrált vízgazdálkodási és víziközműágazatot kezelő stratégia másik központi eleme a magyarországi *víztőzsde* létrehozása lenne. A vízzel mint termelési alanyaggal való kereskedelmi lehetőség megteremtésének a célja, hogy a vízzel kapcsolatos igényekkel és a felhasználáshoz kapcsolódó fizetési hajlandósággal, a fogyasztó lehetőségeivel összhangban határozza meg piaci alapon a víznek mint erőforrásnak a tényleges – államilag nem támogatott – értékét. A víz használatának közgazdasági szempontjait pontosabban és hatékonyabban megjelenítő szabályozást az ágazatra jellemző természetes monopólium-jelleg és a szinte állandó piaci aszimmetria is indokolja (*WAREG 2023*). A víztőzsde kialakítására azonban csak akkor van lehetőség, ha a kereskedelmi térben az információáramlást nem korlátozza mesterségesen semmi, azaz a piacot a lehető legnagyobb fokú átláthatóság jellemzi. A vízzel való kereskedelmet jellemző átláthatóság és elszámoltathatóság egyben a platformban való bizalmat is erősíti, míg az egész keretrendszernek a törvényben meghatározott felügyelettel ellátott intézményrendszere a közjó-jelleget biztosítja.

A tőzsde – vagy másképpen vízkereskedelmi platform – alapja a vízhasználók, azaz valamilyen vízjogi jogosultsággal rendelkezők kvótarendszere. A kvótarendszer

kialakításának számos módja lehetséges, javasolt azonban a kereskedő partnerek számának fokozatos bővülésére építő, szakaszos bevezetést megfontolni: első körben az ismert nagyobb (üzemi) fogyasztókat kell kvótákkal felruházni, majd fokozatosan a kisebb, de nem lakossági fogyasztókat, végül pedig a lakossági fogyasztók előtt is meg kell nyitni a lehetőséget, hogy a kiosztott vagy valamilyen értéktranszferrel együtt járó ügyletekben megszerzett kvótamennyiséggel kereskedjenek. A víztőzsde működési rendszerének részletes meghatározására a jelen esszében nincs lehetőség, de hangsúlyozandó, hogy egy ellenőrzött – akár PPP-rendszerben működő (*World Economic Forum 2023*) – kereskedelmi platformon differenciált ügyletekkel is lehetne kereskedni. A magyarországi vízkereskedelemmel kapcsolatos célkitűzés központi eleme, hogy a virtuális vízkereskedelmi listán lejjebb kerüljünk, és minél kevésbé vízigényes termékeket exportáljunk. A víztőzsde felállítása – köszönettel a folyamatok szabadpiaci kiegyenlítő hatásának – akár már rövid távon is érhetne el eredményeket, igazi eredményeket azonban fokozatosan, középtávon remélhetünk.

Egyéb javaslatok

Az integrált stratégia még számos javaslattal kibővíthetné a fenti, részletesebben bemutatott sarokköveket. A helyhiány miatt csak felsorolás végett: a víziközmű-szolgáltatók vízvesztésének csökkentését előíró jogszabály, az egyesült királysági Ofwat mintára (*Ofwat 2017*); a lakossági vízlátnyom mérséklésére, tényleges viselkedéstudományi alapon, jutalmazó rendszer bevezetése; épületfelújításokkal kapcsolatos víziközmű-fejlesztések lehetőségei (digitalizálás, EU-s források megfelelő becsatornázása, esetlegesen a nemzeti helyreállítási és ellenállóképességi alap módosítása révén is); országos szintű szennyvízelvezetés fejlesztése és a szennyvíz újrahasznosítása; szennyvíz-újrahasznosítás javítása, a szűrkevízhasználat előírása ipari felhasználóknak, különös tekintettel az épülő nagyvízigényű ipari telepek vonatkozásában; a csapadékvíz hasznosítása helyben tartásának pontosabb szabályozása, támogatódíjrendszer kialakítása az Nemzeti Hulladékgazdálkodási Koordináló és Vagyonkezelő Zártkörűen Működő Részvénytársasággal közösen.

A környezetterhelési díj (vízterhelés, talajterhelés) rendszerének átgondolására is szükség van. A hatályos szabályozás idejéig, nem volt még jelentős felülvizsgálata. Ez a megnövekedett vízigényre és vízhasználatra, valamint a klímaváltozásra tekintettel indokolt.

JAVASLATOK ÖSSZEFOGLALÁSA

Az ivóvízzel kapcsolatos gondolkodás gyakran vallási kérdéssé emelkedik (vagy silányul), és ennek csak részben oka, hogy a „víztudomány” mint önálló jogosultsággal bíró diszciplína mára észrevehetően megkopott a magyar tudományos életben. Egy kifejezetten komplex, alapjogi megfontolásokkal tüzdelte, a természettudomány és a társadalomtudomány mezsgyéjén található területet lehetetlen kizárólag az idealisztikus történelmi beidegződések mentén, az aktuálpolitika, vagy szimplán a nemzetbiztonsági-szuverenitási megközelítésből kezelni. A társadalmi megfontolásokat nélkülöző, csakis hidrotechnikai és közmű-hálózati szempontokat vizsgáló megközelítés szintén, legjobb esetben is, csak tökéletlen eredményeket hozhat.

Szükség van az integrált vízgazdálkodás azonnali kidolgozására – úgy, hogy az a rövidtávú finanszírozási problémákat és a hosszútávú állagmegóvási és javítási költségeket is magában foglalja. Csak a hosszútávú, pontos célkitűzéseket azonosító finanszírozási keretrendszer képes arra, hogy a szektort érdekessé tegye mind a köz-, mind a magántőke számára, s egyben a vízzel kapcsolatos fenntarthatósági célokat elérni segítsen. Ezt a vízigazgatási-vízszabályozási intézményrendszernek is kezelni kell tudni – ez pedig egy összetett szabályozási-igazgatási-oktatási feladat.

A vízhasználat a jövőben is növekedni fog, így jó eséllyel a vízzel való kereskedelem mértéke és csatlakozó szolgáltatásokra való igény is. A tanulmányban röviden bemutattam két konkrét javaslatot, valamint megemlítettem több, a fenntartható és jelentős változások irányába mutató megoldást-ötletet. Ezek részletes kifejtése és megvalósításuk, valamint annak az előkészítése hosszabb és minden oldalt bevonó, olyan *integrált* munkát igényel, amely az adaptív vízgazdálkodás irányába és az azt támogató intézményrendszer felé mutat. A 2024. február eleji ASZ-jelentés az abban megfogalmazott javaslatokkal részben ezekre a felvetésekre is reflektál, és kijelöli a cselekvési irányt a szakminisztériumok előtt (*ÁSZ-jelentés 2024*).

KÖSZÖNET

Köszönet a tanulmánnyal kapcsolatos szakértői véleményezésért és stilsztikai támogatásért Reich Gyulának, Baranyai Gábornak, Molnár-Nagy Vivianának, Szabó Péternek, Sorosinszki Flórának és Birtalan Virágnak.

IRODALOMJEGYZÉK

Magyarország Alaptörvénye (2011). Magyarország Alaptörvénye 2011. április 25.

1995. évi LVII. Törvény a vízgazdálkodásról

2011. évi CCIX. törvény a víziközmű-szolgáltatásról.

2011. évi CXCVI. törvény a nemzeti vagyonról

2023. évi LXIX. törvény az állami építési beruházások rendjéről

123/2020. (IV. 16.) Korm. Rendelet a vízkészletjárulékfizetési kötelezettség veszélyhelyzet idején történő teljesítéséről

34/2016. (VIII. 2.) BM rendelet a hatékony víz-árpolitika kialakítása érdekében egyes vízgazdálkodási tárgyú miniszteri rendeletek módosításáról

24/2023. (XII. 13.) EM rendelet a Víziközmű-fejlesztési és Ellentételezési Alapról

24/2013. (V. 29.) NFM rendelet a víziközművek vagyoneértékelésének szabályairól és a víziközmű-szolgáltatók által közérdekből közzéteendő adatokról

25/2023. (XII. 13.) EM rendelet a nem lakossági felhasználók víziközmű-szolgáltatási díjának megállapításáról.

43/1999. (XII. 26.) KHVM rendelet a vízkészletjárulékkiszámításáról

1110/2017 (III.7.) Korm. határozat a Nemzeti Vízstratégia és a végrehajtását biztosító intézkedési terv elfogadásáról.

1828/2021. (XI. 30.) Korm. határozat, <https://kormany.hu/dokumentumtar/nemzeti-vizikozmu-kozszoalatasi-strategia>

- Víz Keretirányelv (2000)*. 2000/60/EK irányelv, a Víz Keretirányelv (VKI)
- 91/271/EGK irányelv A települési szennyvíz kezeléséről
- 91/271/EGK irányelv átdolgozási javaslat (2024). Az Európai Parlament és a Tanács irányelve a települési szennyvíz kezeléséről (átdolgozás) (EGT-vonatkozású szöveg) {SEC(2022) 541 final} - {SWD(2022) 541 final} - {SWD(2022) 544 final}
- Áder J. (2018). Áder János volt köztársasági elnök KEH/03347-2/2018. levele az Alkotmánybíróság részére, [http://public.mkab.hu/dev/dontesek.nsf/0/cbb2386065131e71c12582da004720cb/\\$FILE/I_1216_0_2018_ind%C3%ADtv%C3%A1ny.002.pdf/I_1216_0_2018_ind%C3%ADtv%C3%A1ny.pdf](http://public.mkab.hu/dev/dontesek.nsf/0/cbb2386065131e71c12582da004720cb/$FILE/I_1216_0_2018_ind%C3%ADtv%C3%A1ny.002.pdf/I_1216_0_2018_ind%C3%ADtv%C3%A1ny.pdf)
- ÁSZ jelentés (2024). Állami Számvevőszék, Jelentés, Nemzeti Vízzstratégia Megvalósítására hozott intézkedések ellenőrzése – Ivóvízgazdálkodás ellenőrzése.
- Belényesi P. (2011). A szennyező fizet elv a Víz Keretirányelv fényében. *Gazdaság és Jog* 2011/4. pp. 20-24.
- Belényesi P. (2013). A vízszolgáltatások hatékonyságának javítása a Vízkkeretirányelv egyes rendelkezései és a szennyező fizet elvének tükrében. PhD értekezés, Debreceni Egyetem, Marton Géza Állam- és Jogtudományi Doktori Iskola, 2013. <https://dea.lib.unideb.hu/server/api/core/bitstreams/74ffd7c0-e3ed-4e3c-affe-0c72945e1d67/content>
- Belényesi P. (2019). Viselkedéstudományi eredmények beépítése a szakpolitikai tervezési folyamatokba. *KÜLGAZDASÁG*, 63 (5-6). pp. 47-63. <https://doi.org/10.47630/KULG.2019.63.5-6.47>
- Copeland, C., Carter. N.T. (2017). Energy-Water Nexus: The Water Sector's Energy Use. Congressional Research Service, January 24, 2017.
- Bluefield research (2024). Europe Municipal Water & Wastewater: CAPEX Market Forecasts, 2024-2030. 7 February 2024.
- Dalin, C., Rodriguez-Iturbe, I. (2016). Environmental impacts of food trade via resource use and greenhouse gas emissions. *Environmental Research Letters*, 11(3): 035012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/3/035012>
- Dixon, J.A. (1990). Renewable resources, the environment, and sustained growth: The next twenty-five years. *ASEAN Economic Bulletin* 7(2), pp. 159-172. <https://doi.org/10.1355/AE7-2B>
- Ellensúly (2019). Vízproblémák a 21. században. <https://ellensuly.hu/vizproblemak-a-21-szazadban/>
- EPA (2019). Water Quality Trading, NPDES – National Pollutants Discharge Elimination System. <https://www.epa.gov/npdes/water-quality-trading>. <https://www.epa.gov/npdes/water-quality-trading-policy-promote-market-based-mechanisms-improving-water-quality>
- Erdős É. (2019). A víz pénzügyi jogi környezetének egyes elemei. *Agrár- és Környezetjog*. 2019/27, 56-73. o.
- Fanaian, S. (2022). Too Much, Too Little, Too Dirty: The Evolution of Water Risks and Governance in Guwahati, India. Oxford, UK: Doctor of Philosophy Thesis, University of Oxford.
- Fodor L. (2013). *A víz az alaptörvény környezeti értékrendjében*. Publicationes Universitatis Miskolciensis, Sectio Juridica et Politica, 31. pp. 329-345.
- Food and Agricultural Organization (2018). The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Rome, FAO. <https://www.fao.org/global-perspectives-studies/resources/detail/en/c/1157074/>
- Fujs, T., Kashiwase H. (2023). Strains on freshwater resources: The impact of food production on water consumption. *World Bank Blogs*, August 23, 2023.
- Glied V. (2009). Vízkonfliktusok. Küzdelem egy pohár vízért, szerk., Publikon, Pécs.
- Garrick, D., Balasubramanya, Beresford, S.M., Wutich, A., Gilson, G.G, Jorgensen, I., Brozović, N., Cox, M., Dai, X., Erfurth, S., Rimšaitė, R., Svensson, J., Jones, J.T., Unnikrishnan, H., Wight, C., Villamayor-Tomas, S., Vazquez Mendoza, K. (2023). A systems perspective on water markets: barriers, bright spots, and building blocks for the next generation. *Environ. Res. Lett.* 18. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/acb227>
- Grafton, R.Q., Manero, A., Chu, L., Wyrwoll, P. (2023). The price and value of water: An economic review. *Cambridge Prisms: Water*. Ill., <https://doi.org/10.1017/wat.2023.2>
- Graham, N.T., Hejazi, M.I., Kim, S.H., Davies, E.G.R., Edmonds, J.A., Miralles-Wilhelm, F. (2020). Future changes in the trading of virtual water. *Nat Commun* 11, 3632 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17400-4>.
- Heidari, H., Arabi, M., Warziniack, T., Sharvelle S. (2021). Effects of Urban Development Patterns on Municipal Water Shortage. *Frontiers in Water*, Vol. 3. <https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2021.694817/full>
- Howe, C.W., Schurmeier, D.R., Shaw, W.D. Jr. (1986). Innovative approaches to water allocation: the potential for water markets. *Water Resour. Res.* 22, pp. 439-45. Markets for water: potential and performance. *Natural Resource Management and Policy Series* Boston. ed. K. W. Easter, M. W. Rosegrant, A. Dinar (Dordrecht: Kluwer Academic), vol. 298. <https://doi.org/10.1029/WR022i004p00439>
- Khan, Z., Thompson, I., Vernon, C.R., Graham, N.T, Wild, T.B., Chen, M. (2023). Global monthly sectoral water use for 2010-2100 at 0.5° across alternative futures. *Sci Data* 10, 201. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02086-2>
- Koop, S.H.A., Van Dorssen, A.J., Brouwer, S. (2019). Enhancing Domestic Water Conservation Behaviour: A Review on Empirical Studies on Influencing Tactics. *Journal of Environmental Management*, 247, pp. 867-876. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.126>
- KPMG-MaViz (2015). *A magyar víziközmű ágazat bemutatása*. http://www.maviz.org/system/files/kpmg-maviz_vizikozmu_agazati_helyzetkep_2_kia-das_2015_aug.pdf
- Kvassay Jenő terv (2017). Országos Vízzstratégia. <https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/997966DE-9F6F-4624-91C5-3336153778D9/Nemzeti-Vizstrategia.pdf>.
- Mekonnen, M., Hoekstra, A.Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science*

Advances 2, e1500323. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>

Moazeni, F., Khazaei J. (2021). Optimal energy management of water-energy networks via optimal placement of pumps-as-turbines and demand response through water storage tanks. *Applied Energy*, Vol. 283, 1 February 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116335>

Nationale Wasserstrategie (2023). Nationale Wasserstrategie. Kabinettsbeschluss vom 15. März 2023. <https://www.bmu.de/download/nationale-wasserstrategie-2023>, p. 17.

Nemzeti Vízstratégia, (2013). Vidékfejlesztési Minisztérium, november. <https://2010-2014.kormany.hu/download/9/92/11000/NVS%202013%20nov%206.pdf>

Niti, A. (2024). Water and Land Resources Vertical, „Water trading mechanism to promote reuse of treated wastewater”. July 2023. <https://www.niti.gov.in/sites/default/files/2023-07/Water-Trading-in-treated-waste-water-%26-role-of-regulatory-mechanism.pdf>

NVKKS (2021). Nemzeti Víziközmű-Közellátási Stratégia, 2021.12.02.

Ofwat (2017). Water Services Regulation Authority, Ofwat. <https://www.ofwat.gov.uk/reducing-leakage/#:~:text=We%20have%20set%20a%20challenge,2017%2D18%20levels%20by%202050>.

Qubit (2022). Az ivóvízes locsolás olyan pazarlás, ami a szántóföldi öntözéshez hasonlóan gyorsítja Magyarországot elsivatagosodását. 2022.07.14. <https://qubit.hu/2022/07/14/az-ivovizes-locsolas-olyan-pazarlas-ami-a-szantofoldi-ontozeshez-hasonloan-gyorsitja-magyarorszag-elsivatagosodasat>

Reich Gy. (2019). Nemzeti Vízstratégia (Kvassay Jenő terv) <https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/13535/Nemzeti%20Vizstrategia.pdf?sequence=1>

Right2water (2012). Water and sanitation are a human right! Water is a public good, not a commodity!, https://citizens-initiative.europa.eu/initiatives/details/2012/000003_en?lg=en

Rosa, L., Chiarelli, D.D., Tu, C., Rulli, M.C., D'Ordorico, P. (2019). Global unsustainable virtual water flows in agricultural trade. *Environmental Research Letters* 14/11, 114001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4bfc>

Szabó A.E. (2021). *Adalékok az Alaptörvény P) cikk (1) bekezdésének értelmezéséhez*. Miskolci Jogi Szemle, 16: (2 (1. ksz.)) pp. 299-307. https://www.mjsz.unimiskolc.hu/files/16226/35_szab%C3%B3annam%C3%A1riaeszt%C3%B6rdelt.pdf

Szilágyi J.E., Baranyai G., Szűcs P. (2017). A felszín alatti vízkivételek liberalizálása az Alaptörvény és az európai uniós jog tükrében. *Hidrológiai Közlemények* 97(4), pp. 14-23.

A SZERZŐ



BELÉNYESI PÁL jogász (Debreceni egyetem), doktori fokozatát 2014-ben szerezte a Debreceni Egyetem Jogi Karának Doktori Iskolájában környezet és joggazdaságtanból. Húsz éves nemzetközi tapasztalata alatt dolgozott az Európai Bizottságnál, a Parlamentnél, a Gazdasági Versenyhivatalban. Európai, ázsiai és észak-amerikai egyetemeken ad elő, 2017-ig a John Cabot University adjunktusa volt Rómában. Számos nemzetközi kapacitásépítő projekt tagja. Tanácsadó céget vezet 2013 óta, 2024-ben csatlakozott a Dentons nemzetközi ügyvédi irodához. Alapítója és policy director-a a Central European Lawyers Initiative-nek.

The Dublin Statement (1992). The Dublin Statement on Water and Sustainable Development, 26-31 January 1992.

Tortajada. C. (2010). Water governance: Some critical issues. *International Journal of Water Resources Development* 26, pp. 297-307. <https://doi.org/10.1080/07900621003683298>

UK Department for Business and Trade (2023). „Smarter Regulation: Strengthening the economic regulation of the energy, water and telecom sectors. As regulated by Ofgem, Ofwat and Ofcom”. November 2023. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/655dee93d03a8d00d07fe75/strengthening-the-economic-regulation-of-the-energy-water-and-telecoms-sectors.pdf>

U.S. Department of Energy (2006). Energy Demands on Water Resources. Report to Congress on the Interdependency of Energy and Water. December 2006.

Víz Koalíció (2022). Addig jár a korszak a kútra..., de ki tudja meddig? Gondolatok az ivóvízellátás vélt vagy valós kockázatairól”. 2022. április 30. p. 18.

WAREG (2023). European Water Regulators is. „What is Water Economic Regulation?”, 19 July 2023. <https://www.wareg.org/articles/1-what-is-water-economic-regulation/>.

Water Amendment (Restoring Our Rivers) Bill 2023 (2023). https://www.aph.gov.au/Parliamentary_Business/Bills_Legislation/Bills_Search_Results/Result?bId=r7076

Water in Hungary (2017). Magyar Tudományos Akadémia, „Water in Hungary”, 14 June 2017, https://mta.hu/data/dokumentumok/Viztudomanyi%20Program/Water_in_Hungary_2017_07_20.pdf.

World Bank (2016). High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy. Washington DC. World Bank.

World Economic Forum (2023). „Achieving the SDGs requires public-private collaboration on water. Here's why.” Sep 13, 2023. https://www.weforum.org/agenda/2023/09/public-private-collaboration-key-achieving-sdgs-water/?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI-uP2wobLhAMV0JqDBx1PBgLFEE-AAYAAAEgK19PD_BwE.

Zöld megállapodás (2019). (COM(2019) 640 final)

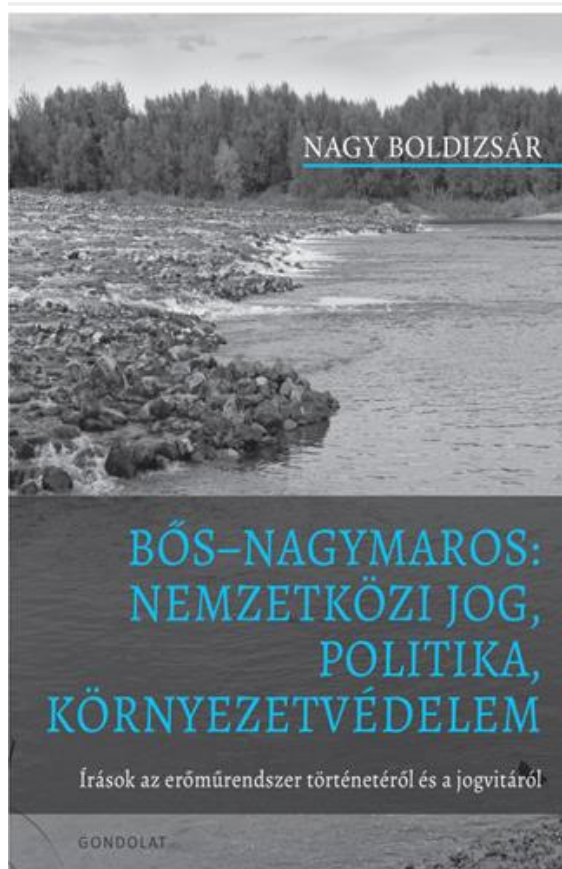
Internetes letöltések <https://korkorosgazdasag.hu/tudtud-e/honnan-ered-a-hazai-ivoviz/>

<https://novekedes.hu/elemezsek/politikailag-is-tabute-makat-feszeget-az-idei-sulyos-aszaly>

Fórum



A FÓRUM ad teret a vitának. Ezért itt tesszük közzé Nagy Boldizsár könyvének ismertetését és a reflexiót, melyet kiváltott. Tanulságos olvasmány maga a könyv és a megszólított szerzők írása is.



Könyvismertetés

Nagy Boldizsár: Bős-Nagymaros: nemzetközi jog, politika, környezetvédelem

Gondolat Kiadó, 2024, 410 oldal

A Gondolat Kiadó ezekkel a szavakkal ajánlja a könyvet:

A magyar legújabb kori történelem nem érhető meg a vízlépcsőrendszert körülvevő hazai álláspontok "hullámszáma" és a Csehszlovákiával, majd Szlovákiával folytatott vita, ezen belül az 1993-1997 között Hágában zajlott per beható ismerete nélkül. Ez a hiánypótló könyv az első, amely "Bős-Nagymaros" politikai, jogi és környezetvédelmi elemeit gazdag illusztrációkkal, az ügy teljes eddigi történetét feldolgozva áttekinti. Szerzője 1990 és 2010 között a magyar kormányok nemzetközi jogi szakértőjeként nemcsak közelről követte, hanem befolyásolta is a per, majd a kétoldalú tárgyalások menetét, ezért a nyilvánosságban nem látható folyamatokról is be tud számolni. A kötet újonnan írt, a mai olvasónak szóló nyitó- és zárófejezete, illetve az időrendben közölt korábbi tanulmányok a Nemzetközi Bíróság 1997. évi ítéletének részletes elemzését adják, választ kínálva arra is, miért képtelen a két állam harmincöt évvel a vita kirobbanása után végre rendezni az ügyet, és miért tűri a magyar kormány a Duna elterelésének folyamatos jogsértését.

(<https://www.lira.hu/hu/konyv/ismeretterjeszto-1/bos-nagymaros-nemzetkozi-jog-politika-kornyezetvedelem>)

Reflexió

Megszólalunk, mert megszólítottunk – Reflexiók Nagy Boldizsár könyvére

Zsuffa István¹, Szöllősi-Nagy András^{1,2}, Bogárdi János^{1,2}

¹Nemzeti Köszolgálati Egyetem, Víz és Környezetpolitikai Tanszék, Budapest

²iASK (Felsőfokú Tanulmányok Intézete) Kőszeg

DOI: 10.59258/hk.16464



Érdeklődéssel vettük kezünkbe Nagy Boldizsár közelmúltban megjelent kötetét (*Nagy 2024*). Annál is inkább, mert a Gondolat Kiadó reklámszövege szerint a kötet "hiánypótló könyv az első, amely »Bős-Nagymaros« politikai, jogi és környezetvédelmi elemeit gazdag illusztrációkkal, az ügy teljes eddigi történetét feldolgozva áttekinti."

Úgy tűnik, hogy a reklámszöveg gondos megfogalmazói egy-két tény és megjelent publikációt, feltehetően pillanatnyi feledékenységéből elfelejtettek megemlíteni. Az ellenkezőjére még csak gondolni is rossz. Hadd utaljunk az akkori kormánypartí, ha úgy tetszik a jobboldali

kormányzati szereplő *Sámsondi Kiss György* volt államtitkár és a „Bős-Nagymaros (BNV) probléma szakmai kezelésére” kinevezett kormánybiztos visszaemlékezésére (*Sámsondi Kiss Gy. 2019*). Sámsondi Kiss könyve (*Sámsondi Kiss Gy. 2019*) Nagy kötetének (*Nagy 2024*) kiadásakor már öt éve ismert volt, és olyan, az ügygel kapcsolatos politikai háttér-történetek fontos részleteit is tartalmazza, amelyek eladdig csakugyan nem voltak ismertek. Azokra nem hivatkozni – tudatosan, vagy anélkül – Nagy könyve új, utolsó fejezetének jelentős hiánya és hibája, még ha Nagy könyvének jelentékeny része régebbi

írásainak megismétlése is. A meghirdetett „*történeti teljeség*” tehát a kötet esetében nem teljesült.

Szerző már kötet címeiben sugallja, hogy a BNV egy-célú *erőműrendszer* volt, ami szintén nem állja meg a helyét. Bár a vízerőhasznosítás része volt a komplex, több-célú BNV vízgazdálkodási rendszer tervének, de emellett a rendszernek más céljai is voltak: árvízvédelem, nemzetközi hajózás, vízpótlás, vízellátás és szennyvíztisztítás és nota bene környezet- és természetvédelem.

A könyv voltaképpen egy életmű kötet, ami az első és utolsó fejezetek kivételével, a szerző korábbi írásait, vagy angolul megjelent cikkeinek magyar nyelvű fordításait tartalmazza. Ezek taglalásába itt most nem megyünk bele, mert azok már történelmi dokumentumok és a jövő kutatóira vár megítélésük. Bár talán érdemes megjegyezni, hogy Nagy már bevezető szövegében tisztán meghatározza kötet feladatát, nevezetesen azt, hogy „... *felvértezte az olvasót a nagymarosi vízlépcső kívánatoságát szajkózó szirénhangokkal szembenálló tudásalapú vitára*”. E költői mondatból azonban hiányzik egy szócska: az *objektív* vitára való felkészítés igénye, azaz az állítások pro és kontra ismertetése.

Egy másik dolog mellett, ami fundamentális az egész kötetben, sem mehetünk el szó nélkül. Bár mindhárman – vízmérnökök lévén – járatlanok vagyunk a nemzetközi jog alapos ismeretében – és ebben láthatóan szimmetrikus helyzetben vagyunk a szerző vízgazdálkodási ismereteit illetően –, ám mégis jelentős gondunk van annak megértésében, vajon miért Szlovákia tartozik Magyarországnak s nem fordítva. Mintha az ok-okozat elv sérülne itt. Szlovákiának azért kellene fizetnie, mert Magyarország egyoldalúan felfüggesztette, majd kilépett az államközi szerződésből? Vagy mert Szlovákiának jelentős többletkiadásai származtak a dunacsúnyi (Čunovo) gát, tározórendszer és a kapcsolódó elemek (az úgynevezett C-variáns) megépítéséből és ezért Szlovákiának még fizetnie is kell a magyaroknak? Nem inverz logika ez? Amennyire tudjuk a Németh-, majd később az Antall-kormány principális oka a nagymarosi gát építésének felfüggesztésére, majd leállítására az volt, hogy a BNV rendszer ökológiai katasztrófát okoz, amitől a hazát meg kell védeni. Ezt az állítást azóta sem sikerült bizonyítani. Tehát egy nem bizonyított feltételezés vezetett fontos politikai döntéshez, majd a hágai perhez.

Mint „nem jogászok” fogadjuk el átmenetileg Nagy érvelését, nevezetesen, hogy Magyarországnak tényleg járna energia (vagy másformájú anyagi kompenzáció) – annak az államszerződésnek az értelmében, amit Magyarország egyoldalúan mondott fel –, hiszen Bős termeli a vízenergiát. A szerző, nem is nagyon burkoltan a politikusok szemére veti, hogy a „jussunkat” eddig egyik magyar kormány sem követelte Szlovákiától. Politikát azonban nem lehet kizárólag a jogra hivatkozva megítélni. Az ellenzők hibás tanácsait követve bármennyire is lehetetlen helyzetbe manőverezte magát az ország parlamentje és kormánya, a tény felismerése – hogy a két ország viszonyát az „olaj a tűzre” mentalitás és követelődzések csak rontanák – az ügyben érdekelt későbbi magyar kormányok érhető józanságának, mintsem hibájának tudható be.

Nagy kötete a BNV-vel kapcsolatos politika tárgyalását címében is céljaul tüzi ki. A politika a kötetben tehát fő irány. Sajnálatos, hogy annak tárgyalását szelektíven teszi és nem tér ki a leállítás és a hágai per előkészítésének politikai hátterére. Ezekről nagyon érzékletesen ír a folyamatban akkor résztvevő fontos kormányzati tényező, a tanú: „... [a] *vízlépcsőrendszer elleni érveink túlfuttatásának és ... a trójai falóba betolakodó szélhámosok, destruktív demagógok, magukat átmentő régi káderek, gátlástalan karrieristák érvényesülésének [és] politikai befolyásának ... „kiteljesülése” egy nemzeti katasztrófa beteljesülése lett ... [az] illetékes [MTA] Vízgazdálkodási Bizottság nem is vett részt a szakértői munkában ... a testület [MTA] vezetése fundamentalista csapdaállító mozgalmárok befolyása alá került*” (Sámsondi Kiss 2019). A tanú fontosnak tartja kiemelni, hogy a végrehajtó hatalom „... *elsősorban Antall József tudatában volt feladatom ellentmondásosságának ... A bösi ügyben érezhető volt a mélyben szkeptikussága. Állítólag bizalmas körben kijelentette, hogyha racionálisan kívánna cselekedni, a Duna Körös szellemmel átitatott országgyűlés 99%-a leszavazná*” és megjegyzi, hogy az MTA „*vizügyes tudósai közben memorandumot intéztek a kormányhoz azzal a figyelmeztetéssel, hogy őket boszorkányüldözés éri, miközben szélhámosok érveivel dolgozunk. Aláírták többek között Haszpra Ottó, Vágás István, Kozák Miklós professzorok is*”. Sámsondi Kiss kötetéről többet *Szöllösi-Nagy (2020)* recenziójában olvashatunk.

Mindez mára már történelem, amire ugyan fontos vizszatekinteni, ám a régi ellentétek felelevenítése nem szükségképpen járul ahhoz, hogy a status quo-ból kiindulva a BNV diskurzus egy fenntartható és tényeken alapuló jövő irányába haladjon. Azonban az objektivitás érdekében Nagynak kötelező lett volna Sámsondi Kiss könyvét is megemlítenie. Ha másért nem, azért feltétlenül, hogy deklarált célkitűzésével összhangban „*felvértezte az olvasót ...*”.

Érdeklődésünk még jobban felcsigázódott, amikor a kötet *Összegző kitekintés* című, utolsó fejezetéhez értünk. Ugyanis abban a Hidrológiai Közlönyben korábban megjelent, a Szigetköz hidroökológiájával foglalkozó közleményünk (Zsuffa és társai 2023) tüstént heves támadásra készítette Nagy Boldizsárt. Abban szólítottunk meg, mint „alapelvtársak”, Nagy szerint a „*vízlépcsőket pártolók újjáéledő, egyre hangosabb kórusa ... akik egyenesen a szocializmus álmát, a két vízlépcsős rendszert kívánják megvalósítani*”.

Ügyes csúsztatással az ellenző mozgalmárok között mindmáig népszerű a BNV-t és a Duna magyarországi szakaszának hasznosítását „sztálini agyrem”-nek minősíteni. Ez a parabola jól hangzik, ám tényszerűleg nem igaz. Sámsondi Kiss György a „... Bős - Nagymaros szindrómáról – összeköt, elválaszt” című interjújában (Dubniczky 2019) jegyzi meg, hogy „*Mivel a vízlépcsőrendszer tervezési fázisába egy szovjet, pontosabban grúz szakértőt is bevontak, a mozgalmárok attól tartottak, hogy titkos szovjet stratégiai érdek is felbukkan a beruházás mögött, sőt, akadtak, akik egyenesen interkontinentális rakéták dunai szállításáról beszéltek*.” Már az első világháború előtt készültek koncessziós tervek a szakasz hasznosítására, még Ferenc József országlása idején. Az említett uralkodó, továbbá

megbízott szakértői nemigen nevezhetők a sztálinista eszmék buzgó terjesztőinek – akkortájt amikor Joszif Visszarionovics éppen, hogy túl volt teológiai tanulmányain és a cári Oroszország meteorológiai szolgálatának megfigyelőjeként ténykedett, majd aktív postarablással foglalkozott. Ám ez csak apró, szórakoztató pontatlanság. Minősítettünk, mint Kozák Miklós professzor „*alapelvtársai*”, ami megtisztelő besorolás, ugyanis néhai Kozák professzor – szemben a kötet szerzőjével – értett a vízgazdálkodáshoz és az azokhoz szükséges mérnöki műtárgyak hidraulikájához. Ezt a halála után megjelent életműkötete (*Kozák 2021*) is igazolja. Nem emberfeletti kihívás, ám az értelmes diskusszió kedvéért érdemes legalább a Chézy-képlet, a Darcy-egyenlet és a fokozatosan változó nempermanens felszíni vízmozgás parciális differenciálegyenleteit, mint minimumot megérteni. Ezek megértésében Kozák könyvei sokat segíthetnek.

Természetesen nem lehet megkívánni senkitől, hogy egy számára idegen tudományterület irodalmát és szakmai sajátosságait alaposan ismerje. Elvárható viszont, hogy ha valaki egy szakma képviselőit a saját területükön támadja, akkor legyen minimális tárgybéli tudása. Morálisan elfogadhatatlan bizonyítatlan és hivatkozás nélküli kijelentésekkel érvelni, mint ahogy Nagy ezt könyvének 80. oldalán („... *kutatások kimutatták ...*”), majd a 112. oldalon („... *kutatások 1989-1992 között megerősítették a rétegvizek és felszíni vizek elszennyeződésének veszélyét ...*”) teszi. A forrásműre vagy adatközlőre való pontos utalás nélkül az említett „*kutatások*” megítélése a tudomány területéről a kávéházi csevej világába és színvonalára kerül.

Az érvek hiányára utal, ha valaki egy írás módszertanát kritizálja úgy, hogy annak lényegi tartalmáról gyakorlatilag nincs mondanivalója. Ezt tette Nagy Boldizsár is, amikor cikkünk szakmai tartalmának kritikája helyett azzal igyekezett lejáratni írásunkat, hogy abban vannak szóbeli közlésen alapuló információk is. Vannak, de ennek bírálatában sincs igaza. Apróságnak tűnik, ám a „személyes közlés” (*personal communication*) bevett és elfogadott gyakorlat a tudományos publikálás terén (<https://tinyurl.com/2r2wnux6>). Olyannyira, hogy maga Nagy is több helyen utal beszélgetésekből nyert információkra (például az ÉDUVIZIG igazgatójával folytatott és megemlített beszélgetéseire), ami természetesen rendben is van. Ami pedig az általunk hivatkozott szakembereket illeti: Pannonhalmi Miklós, Jakus György és Kertész József, azok a vízügyi szakemberek, akiknél többet a Szigetköz vízminőségi, ökológiai, hidrológiai és vízgazdálkodási viszonyairól, valamint a BNV szigetközi hatásairól aligha tud bárki – ideértve a szerzőt is (*Jakus és társai 2024*). Szintén apróság, de ha már itt tartunk megemlítendő az akadémiai pontosság érdekében, hogy Nagy viszont valóban elkövetett egy hibát akkor, amikor nem idézte pontosan cikkünk egyik mondatát. A 341. oldal lábjegyzetében található következő mondatrészletről van szó: [az] „üggel kapcsolatos jelenlegi fáradság és közömbösség ...”. Ez a mondat bírált cikkünkben így hangzik: [az] „üggel kapcsolatos jelenlegi fáradság és *társadalmi* közömbösség ...”. (Kiemelés tőlünk). A két idézett mondatrész tartalma között jelentős különbség van. Civilizált közleményekben az idézőjelekbe tett idézetnek szó szerint meg kell egyeznie az eredetivel. Egyébként felmerül a véletlen vagy tudatos manipuláció gyanúja.

Örültünk volna, ha Nagy Boldizsár lendületes támadásának értelmezhető tartalmi üzenete is lett volna és nem azon fáradozna, hogy megkérdőjelezze azon személyek szakmai kompetenciáját, akik nem osztják nézeteit. Ezt tette dr. Mészáros Csaba címzetes egyetemi docenssel, utalva arra, hogy Mészáros írásai nem találhatók a Magyar Tudományos Művek Tárában (MTMT). Egy ilyen „súlyos vád” lendületes elővezetése előtt azonban jobb lett volna tájékozódni: Mészáros közel húsz éve ment nyugdíjba – jóval azelőtt, hogy az MTMT 2009-ben történt létesítésének gondolata felvetődött.

Kár, hogy értelmes vita helyett Nagy meg sem kísérel közleményünk állításainak cáfolását. Ami principális hiba, mert cikkünk részben éppen a vízlépcsőellenes vádak bizonyítékokkal alátámasztott cáfolatait tartalmazza. Ezek a cáfolatok így hangzanak:

1. A dunacsúnyi tározóban nem következett be eutrofizációból eredő vízminőségromlás az elterelést követő 30 éves időszakban;
2. A szigetközi talajvíz, valamint a Szigetköz felszín alatti ivóvízkincse nem szennyeződött el és nem került veszélybe a dunacsúnyi tározó üzembehelyezésének következtében. A szigetközi talajvíz, a 2022-es VGT3 (*VGT3 2022*) szerint a „jó” vízminőségi kategóriába tartozik;
3. A szigetközi hullámtér ökoszisztémái nemhogy nem pusztultak el, hanem – köszönhetően a kiépített vízpótlórendszernek és a Duna vízminőségében végbement javulásnak – még a BNV előtti időkhöz képest is jelentős állapotjavuláson mentek keresztül.
4. A BNV tervezett és/vagy maradék műtárgyai nem növelik az árvizek és földrengések okozta veszélyeztetettséget.

Érdeklődéssel várjuk Nagy Boldizsártól cáfolatunk cáfolatát. Legyen a szerző az első, aki végre objektív bizonyítékokkal is alátámasztja a vízlépcsőellenes vádak! Ezekre vár a szakma már több, mint 40 éve.

E szövegben már utaltunk az ökohidrológiai vádakra, amelyekre hivatkozva a magyar kormány egyoldalúan megszegte az államközi szerződést. Ekképpen a vádak igazságtartalma alapvető fontossággal bír az ügy megítélése szempontjából. A tudományos világban azonban az állítások igazságtartalma fölött a bizonyítékok mondanak ítéletet. Ennek elismerése még attól is joggal elvárható, aki magát az egyedüli igazság képviselőjének tartja.

A könyvben számos tárgyi tévedés is szerepel, amiket javasolt kijavítani. Álljon itt ezekből egy kisebb minta:

1. A könyv 343. oldalán „utolsó belföldi delta”-ként emlegeti szerző a Szigetközt, amely a Duna elterelése és a vízpótlórendszer kiépítése következtében „szabályozott erek és csatornák ember alkotta hálózatává válik”. Nagyfokú ismerethiányra vall, ha valaki nincs tisztában azzal, hogy a Szigetköz már a 20. sz. elején megszűnt belföldi deltaként létezni. Ugyanis onnantól kezdve a szigetközi Duna egy „ember alkotta” mederben folyt le – egészen az 1992-es elterelésig. A korábban aktív ágak túlnyomó része lefűződött hullámtéri holtágakká alakult, melyek korlátozott hidrológiai kapcsolatban álltak a főmederrel. Ráadásul, ez a mesterséges rendszer súlyos degradációs

folyamatoknak is ki volt téve. A BNV egyik tervezett célja épp ezen degradációk ellensúlyozása volt.

2. A 346. oldalon a szerző azt állítja a tőle megszokott, bizonyítékok által nem bonyolított kinyilatkoztatás formájában, hogy „*A jelenlegi vízpótló rendszer alapvető hiányossága az, hogy árvizek szimulálására nem alkalmas, ...*”. Ez tényszerűen nem igaz. A rendszer alkalmas és a gyakorlatban el is végzi az erre a célra tervezett feladatát. Ugyanis 2004 óta, a Szlovákiával történt megállapodás alapján, egy április 1. és május 31. között kijelölt 14 napos időszak során, a szokásos 600 m³/s helyett 800 m³/s kerül átadásra Dunacsúnynál az alábbi feltételek mellett: egyfelől akkor, amikor a Duna rajkai szelvényében a vízhőmérséklet eléri a +10 °C-ot; másfelől a Duna dévényi vízhozama az előrejelezhető időszakban meghaladja a 2 500 m³/s-ot (Tatai 2016). Az így létrejövő árasztás hatására a hullámtéren kialakuló vízszintek megfelelnek az 50-es években 3 000–4 000 m³/s-os közepes árvizek során kialakult vízszinteknek. Így tehát az olyan években is megtörténik a hullámtér jótékony tavaszi elárasztása, amikor a Duna tavaszi árvizei elmaradnak.

Veretes mondanivalója végén Nagy így összegzi krédóját: „... a vízlépcsőrendszer terve a szocialista integráció ideologikus produktuma volt, egy a világtól elzárkózó, autarchiára törő gazdaság pillére ...”. Ez az állítás egyszerűen nem igaz. A vízenergia szerepét illetően javasoljuk a szerzőnek a francia, norvég, svájci, osztrák, kínai, japán és brazil, amerikai egyesült államokbeli, vagy éppen a zambiai vagy mozambiki történelmi vízerőhasznosítási gyakorlatok tanulmányozását. A sor persze folytatható ...

Álljon itt befejezésül egy záró megjegyzés Nagy kötetéhez. A modern vízgazdálkodási rendszerek többcélúak és lehetővé teszik a célok prioritásának megváltoztatását, tehát a rugalmas alkalmazkodást a változó körülményekhez. Szemben az egycélú rendszerekkel, mint például a csak vízenergiatermelés maximalizálását szolgáló művekkel, ahol csak egy célfüggvény optimalizálása a cél, a többcélú rendszereknél nem létezik egyetlen optimum. A több célt legjobban kielégítő Pareto-optimumok (<https://tinyurl.com/ys68pf6c>) keresése lényegesen bonyolultabb feladat, mint az egycélú optimalizálás, ami – még korlátozó feltételek rendszere mellett is – egy viszonylag egyszerű optimumkeresés. Ezért volt már a BNV-rendszer tervezésének kezdetén a flexibilis, sok igényt egyszerre kielégítő üzemmód lehetővé tétele a célkitűzés, vagyis az igényekhez rugalmasan alkalmazkodva a hajózás, az

árvízvédelem, vízbiztonság, az energiatermelés, és igen: a környezet- és természetvédelem megfelelő figyelembevételével a vízrendszer adta lehetőségek és a változó társadalmi prioritások függvényeként.

Kár, hogy Nagy Boldizsár nem vette magának a fáradságot, hogy a BNV történetét és tervezett működését könyve írásakor „*az ügy teljes eddigi történetét feldolgozva*” figyelembe vegye és megértse. A személyeskedést választva így a cikkünk végén javasolt inter- és transzdiszciplínaris dialógus esélyét szalasztotta el. Csakugyan kár.

IRODALOMJEGYZÉK

Dubniczky M. (2019). Sámsondi Kiss György a Bős - Nagymaros szindrómáról – összeköt, elvlaszt. Mérnök Újság (MÚ) 2019. június pp. 45-48.

Jakus Gy., Kertész J., Mohácsiné Simon G., Pannonhalmi M. (2024). Az újjászülető Szigetköz. Hidrológiai Közöny, 104/1. pp. 17-39.

Kozák M. (2021). Vízgazdálkodási nagyműtárgyak mint a nemzetgazdaság fejlesztésének eszközei – a vízügy szakma és tudomány fejlesztéséért, védelméért és a szakmaiatlanság ellen. Typotext, Budapest. p. 479.

Nagy B. (2024). Bős–Nagymaros: nemzetközi jog, politika, környezetvédelem – írások az erőműrendszer történetéről és a jogvitáról. Gondolat Kiadó, Budapest.

Sámsondi Kiss Gy. (2019). A Duna mégis összeköt – egy kormánybiztos vallomása. Kairosz Kiadó, Budapest.

Szöllősi-Nagy A. (2020). Egy jó szándékú könyv rossz szándékú emberekről. Hidrológiai Közöny. 100/2. pp. 86-87.

Tatai R. (2016). A szigetközi hullámtéri vízpótló rendszer üzemeltetése, árasztási tapasztalatok. Magyar Hidrológiai Társaság, XXXIV. Országos Vándorgyűlés. Debrecen.

VGT 3 (2022). Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási terve-2021. OVF. VGT3 elfogadott – VIZEINK.HU

Zsuffa I., Szöllősi-Nagy A., Bogárdi J. (2023). Insula Insolita – Szigetköz és Bős-Nagymaros párhuzamos története. Hidrológiai Közöny. 103/2 pp. 4-23.

Internetes letöltések:

<https://academicguides.waldenu.edu/writingcenter/apa/citations/personalcommunication> Letöltve: 2024. április 28.

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Pareto-hat%C3%A9konys%C3%A1g> Letöltve: 2024. május 1.

A SZERZŐK



ZSUFFA ISTVÁN 1991-ben kiváló minősítésű vízépítő mérnöki diplomával fejezte be tanulmányait a Budapesti Műszaki Egyetemen. PhD fokozatát 2001-ben a Wageningen-i Egyetemen (Hollandia) szerezte a környezettudományok terén. PhD kutatásának témája: többkritériumú döntéstámogató rendszerek alkalmazása folyami árterek ökológiai revitalizációjához. 2001-től 2012-ig a VITUKI-ban dolgozott, ahol számos hazai és nemzetközi kutatás-fejlesztési projektben vett részt, melyek közül a legjelentősebb a koordinációjával lebonyolított EU támogatású WETwin projekt. Ez a nemzetközi projekt európai, afrikai és dél-amerikai vizes élőhelyek ökológiai revitalizációjával foglalkozott. 2012-től a VITUKI Hungary Mérnökiroda Kft. alkalmazásában áll, ahol jelenleg vízkészlet-gazdálkodási és előrejelzési célú csapadék-lefolyás modellrendszereket fejleszt magyarországi kis- és közepes vízgyűjtőkre. Kutatás-fejlesztési tevékenységek mellett, hidrológiát, hidrológiai modellezést és hidrometriát is tanít a Nemzeti Közszerzői Egyetem Víz Tudományi Karán és az ELTE TTK-n.



SZÖLLŐSI-NAGY ANDRÁS vízmérnök, hidrológus, Dr. Techn., PhD, Dr. Habil., az MTA doktora, Prof. Dr. HC mult., egyetemi tanár a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Karán, a Felsőfokú Tanulmányok Intézete (iASK), Kőszeg, tudományos tanácsadója; a nemzetközi Sustainable Water Futures Programme (Jövő Fenntartható Vízgazdálkodása), Brisbane, Ausztrália, elnöke. Korábban húsz évig az UNESCO Nemzetközi Hidrológiai Program (IHP) főtárgyvezetője, később Kormányközi Tanácsának elnöke, majd a delfti (Hollandia) UNESCO-IHE Institute of Water Education rektora. A Hidrológiai Közlemények szerkesztőbizottságának elnöke, korábbi főszerkesztője. Hazai szakmai pályáját a VITUKI-ban kezdte Kienitz Gábor Rendszerhidrológiai Osztályán és a VITUKI tudományos főigazgatóhelyetteseként fejezte be 1989-ben. Eközben a IIASA-ban és a kanadai Waterloo Egyetemen dolgozott. A Magyar Mérnök Akadémia tagja és alelnöke, valamint a Magyar

Természettudományi Társulat alelnöke.



BOGÁRDI JÁNOS 1969-ben szerzett építőmérnöki és 2019-ben arany diplomát a Budapesti Műszaki Egyetemen. 1971-ben a Padovai Egyetemen (Olaszország) nyert posztgraduális diplomát hidrológiából. Mérnökdoktori képezését (Dr.-Ing.) a németországi Karlsruhei Egyetemen szerezte 1979-ben. Asszisztensként dolgozott a BME Vízgazdálkodási tanszékén (1969-1971) majd a Karlsruhei Egyetemen (1974-1979), ahol 1980-1983 között szenior kutató is volt. Több éven át működött konzultánsként Németországban és Afrikában (1971-1973 és 1983-1985 között). 1985 és 1988 között az Asian Institute of Technology (AIT, Thaiföld) docense (associate professor). 1989 és 1995 között a Wageningen-i Mezőgazdasági Egyetem tanszékvezető

egyetemi tanára. 1995-től 2003-ig az UNESCO főmunkatársa és a Fenntartható Vízgazdálkodás Szekció vezetője Párizsban. 2003 és 2009 között az ENSZ Egyetemének bonni Környezet és Emberi Biztonság (UNU-EHS) intézetének alapító igazgatója. 2007-2009 között az UNU európai vicerektora. 2009-től 2012-ig a Bonni Egyetem Fejlesztéskutatói Központján (ZEF) belül működő nemzetközi Global Water System Project (GWSP) végrehajtó igazgatója. 2004-től a Bonni Egyetem Mezőgazdasági Karának ko-optált professzora. 2012 óta a ZEF kiemelt munkatársa. 2016-tól az AIT megkülönböztetett vendég professzora. 2017 óta kőszegi Felsőfokú Tanulmányok Intézetének tudományos tanácsadója, 2022-től a mexikói Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) tiszteletbeli vendég professzora. Több mint 200 tudományos publikáció szerzője vagy társszerzője. Több, főleg közép európai egyetem kitüntette. A Varsói Mezőgazdasági Egyetem (1996), a BME (1997) és a Nizsnij Novgorodi Állami Építészeti és Építőmérnöki Egyetem tiszteletbeli doktora (Dr.h.c.). 2008-ban a Cannes-i nemzetközi Vízdíj (Grand Prix des Lumières de l'Eau) kitüntette. 2021-ig a MHT Hidrológiai Közlemény szerkesztőbizottsági tagja. 2017 óta a MHT tiszteletbeli külföldi tagja.

Életutak



A Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) külföldi tiszteleti tag kitüntetésben részesítette Johannes Wessel professzort!

A külföldi tiszteleti tag cím a Hidrológiai Társaság egyik legmagasabb kitüntetése. A magyar vízgazdálkodás eredményeinek nemzetközi elismertetése és a vízgazdálkodásban külföldön elért eredmények hazánkban történő megismertetése érdekében végzett tevékenysége alapján



2024-ben ezt a díjat a holland Johannes Wessel professzor kapta. Az MHT ezzel a díjjal fejezi ki tiszteletét és köszönetét azért, amit Wessel professzor a magyar vízgazdálkodás nemzetközi és európai integrációjának elősegítéséért tett.

Johannes Wessel holland jogász professzor nemzetközi szinten elismert tudós, aki a vízgyűjtőgazdálkodás, az integrált vízgazdálkodás, a vízjog és a vízpolitika szakterületen elért magyar eredményeket az általa

1989-ben alapított és nyugdíjazásáig vezetett Folyóvölgyek Igazgatása Központ (RBA) lehetőségeivel élve, nemzetközi és európai szinten széles körben terjesztette. Az RBA-ban a Budapesti Műszaki Egyetem Vízgazdálkodási Tanszékével együttműködve, annak a kiterjedt nemzetközi kapcsolataira is építve, megszervezte a Rajna és a Duna vízgyűjtő-gazdálkodását összehasonlító projektet, valamint több hasonló nagy projekt megvalósításához magyar szakértők tevékenységének feltételeit biztosította az RBA-ban, akik jelentős részt vállaltak a Központ nemzetközi szakmai és tudományos tevékenységének koordinációjában, és az integrált vízgyűjtőgazdálkodás műszaki feladataival kapcsolatos kutatásokban. Tevékenységével jelentős mértékben hozzájárult ahhoz, hogy a magyar víztudományokkal foglalkozó szakemberek az integrált vízgyűjtő-gazdálkodás területén születő új külföldi eredményeket megismerjék és alkalmazásukat a gyakorlatban bevezessék. Nagyon sokat tett azért, hogy a vízgazdálkodással foglalkozó magyar szakemberek jól ki tudják használni a rendszerváltozás után megnyílt új, nagy lehetőségeket. Ezzel elévülhetetlen érdemeket szerzett az integrált vízgazdálkodás fejlesztésében Magyarországon, a Duna vízgyűjtőjén és Európában.

De szóljanak a magyar szakemberek, akik hosszabb időt töltöttek az RBA-ban:

Wessel professzorral kapcsolatos emlékeim közül talán a legfontosabb az, hogy ő volt egyike azoknak, akik elsőként nyújtottak tevételes segítséget a műszaki felsőoktatásunk korszerű alapokra helyezésében. Ő volt az, aki 1990-ben – Ijjas professzor úr közreműködésével – megszervezte

és lebonyolította az első Summer Projekt-et a Műegyetem és a Delft-i Műszaki Egyetem hallgatóinak részvételével (köztük e sorok szerzőjével is). Korszerű mérnöki eszközöket és eljárásokat alkalmaztunk csoportmunka keretében, egy konkrét mérnöki probléma megoldása érdekében. Ezek akkoriban új és rendkívül hasznos tapasztalatok voltak a projektben résztvevő magyar hallgatók számára. A későbbiek során a diplomamunkámat is Wessel professzor felügyelete alatt készítettem el a Delft-i egyetemen. Ekképpen, Wessel professzornak köszönhetem azokat a tudományos alapokat, melyek nélkülözhetetlennek bizonyultak a meglehetősen interdiszciplináris doktori kutatásom során.

Zsuffa István

Wessel professzor úrral való találkozásom nagymértékben alakította át az életemet, további pályafutásomat. Jelentős szerepe volt abban, hogy kollégáimmal és hallgatóinkkal együtt megismerhettük Európa egyik legnagyobb hírű műszaki egyetemét. Tapasztalatokat szerezhettünk az ottani egyetem élet sajátosságairól, ami szinte teljesen azonos volt az itthoni élettel, de mégis egészen más volt. Ez az együttműködés tovább tágította akkor kialakuló nemzetközi kapcsolatainkat, segített abban, hogy közvetlen tapasztalatot szerezhessünk egy nagyméretű nemzetközi kutatási program felelősségteljes irányításában, az Európai Unió által biztosított források felhasználásában. A legnagyobb hálával azért tartozom Wessel professzor úrnak, mert kiváló példáját adta az önzetlen és nagylelkű emberi és szakmai segítségnyújtásnak, s ez a példa is hozzájárult, hogy később magam is, magunk is így tehessünk fiatalabb kollégáinkkal, pályatársainkkal.

Kardoss László

Wessel professzor úr a hollandiai napok egyik fő előadója volt. Számomra az ő előadása nyújtotta talán az első benyomást a– külföldi egyetemi előadásokról, és persze a vízgazdálkodás számos, a mérnöki szemléleten túlmutató, jogi, politikai és társadalmi aspektusáról. Egyben azt is megállapíthattam, hogy az akkori budapesti képzésünkre milyen nagy hatással voltak a Wessel professzor által is képviselt eredmények, köszönhetően az Ijjas professzor úrral kialakult, addigra sok éves szakmai kapcsolatnak. Számomra tehát, noha éppen csak néhány órás lehetőségem volt találkozni Wessel professzorral, élményként marad meg, és örülök, hogy tiszteleti tagsága kapcsán megidézhettem ezeket az emlékeimet.

Rác Tibor

Ijjas István és Major Veronika

Nekrológ



2024. május 10-én életének 83. évében elhunyt Röss Sándor. Sándor Győrben született egy háromgyermekes család első és egyetlen fiú gyermekeként. Gyermekkorát családjával Lázint töltötte, majd Kisbénán kezdte a gimnáziumot. 1957 januárjában a továbbtanulás érdekében Budapestre költözött és az akkori Fáy András Gimnáziumban érettségizett 1959-ben. Gyökereitől nem tudott és nem is akart elszakadni. Élete végéig hobbija volt a kertészkedés. A kemény munkában hitt, eredményorientáltság jellemezte.

Okleveles közgazdáként végzett a Marx Károly Közgazdaságtudományi Egyetem, Mezőgazdaság ágazatán 1963-ban. Az egyetemi doktori munkáját a vízkészletek optimális hasznosításáról írta 1973-ban. MTA ösztöndíjas volt az Agrárgazdaságtani Intézetben (1963-1964). Első munkahelye a VITUKI Közgazdasági Csoportjában volt (1964-1971). 1972-1989-ig a Vízgazdálkodási Intézetben dolgozott, először osztályvezetőként, majd a Hidroökonómiai, később a Közgazdasági Iroda vezetőjeként. 1989-1991 között a Környezetgazdálkodási Intézet Környezetgazdaságtani Intézetében igazgatóként tevékenykedett.

1991-től alapítója és elnök-vezérigazgatója volt az ÖKO Rt-nek (később Zrt), 2017-től haláláig az ÖKO Zrt. igazgatóságának elnöke volt.

Ő volt hazánkban az első és kimagasló képviselője a hidroökonómia tudománynak. Nagy szerepe volt a matematikai modellek alkalmazása elterjesztésének a vízgazdálkodásban. Sokat tett azért, hogy a vízpolitikában a hatékony gazdasági szabályozók, ösztönzők, pénzügyi és intézményi rendszerek iránti igények erősebben megfogalmazásra kerüljenek. Ezeket számtalan előadásában és publikációjában képviselte, például: Árvízvédelem piacosítva, A vízkészlet, mint természeti erőforrás értéke és szerepe a gazdasági növekedésben, A vízkészletek gazdasági értékelésének néhány kérdése, Nagyméretű vízügyi létesítmények társadalmi-gazdasági hatékonyságának utólagos gazdasági elemzése.

Dr. Röss Sándor

Győr, 1941. szeptember 25. – Budapest, 2024. május 10.

A sokéves vízvagyoneértékeléssel kapcsolatos munkája, ma is a víz gazdasági értékelésének egyik alapjául szolgál.

A vízügyi ágazatban, később a környezetvédelemben is ismert, elismert, jó értelemben befolyásos szakemberként és vezetőként tevékenykedett. Rendkívüli energiával vetette bele magát a szakmai vitákba, a vízgazdálkodás és a környezetvédelem fejlődését elősegítő projektekbe, az oktatásba is. Az ÖKO Zrt. elnevezése is tükrözi azt a holisztikus, integrált szemléletet, ami Sándort jellemezte. ÖKO, a görög szógyök egyben az ökológia és az ökonómia szavak előtagjai. Az elnevezések rokonsága a két időlegesen különvált tudomány egységességének szükségét szimbolizálja. Környezet és gazdaság összefüggései mindig érdekelték Sándort és vezetésével az ÖKO Zrt. a környezetvédelem interdiszciplináris szakterületein törekedett az ökonómiai és az ökológia szempontrendszerének közelítésére. Vezetésével az ÖKO Zrt. a környezetvédelem, vízgazdálkodás elismert szakértői cégeként működött, mind országos stratégiák készítésében (pl. Nemzeti Környezetvédelmi Program, Vízügytő-gazdálkodási Tervek), mind a gazdasági szabályozók, gazdasági elemzések tekintetében, valamint a környezeti hatásvizsgálatokban, környezeti értékelésekben.

Szakmai tudása elismertséget szerzett mind a tudományos életben, mind a tanácsadó szférában. Egész életében azért küzdött, hogy értelmes, gazdaságilag és szakmailag is racionális, elfogadható döntések születessenek a vízgazdálkodásban, a környezetvédelemben, projekt szinten éppúgy, mint a szakpolitikákban. Ez persze szakmai és politikai háborgásainak, vitáinak előidézője is volt. Mindig fájt neki, hogy hiába a sok jó terv, ha azok valahogy mégse úgy valósultak meg, ahogy elképzelte.

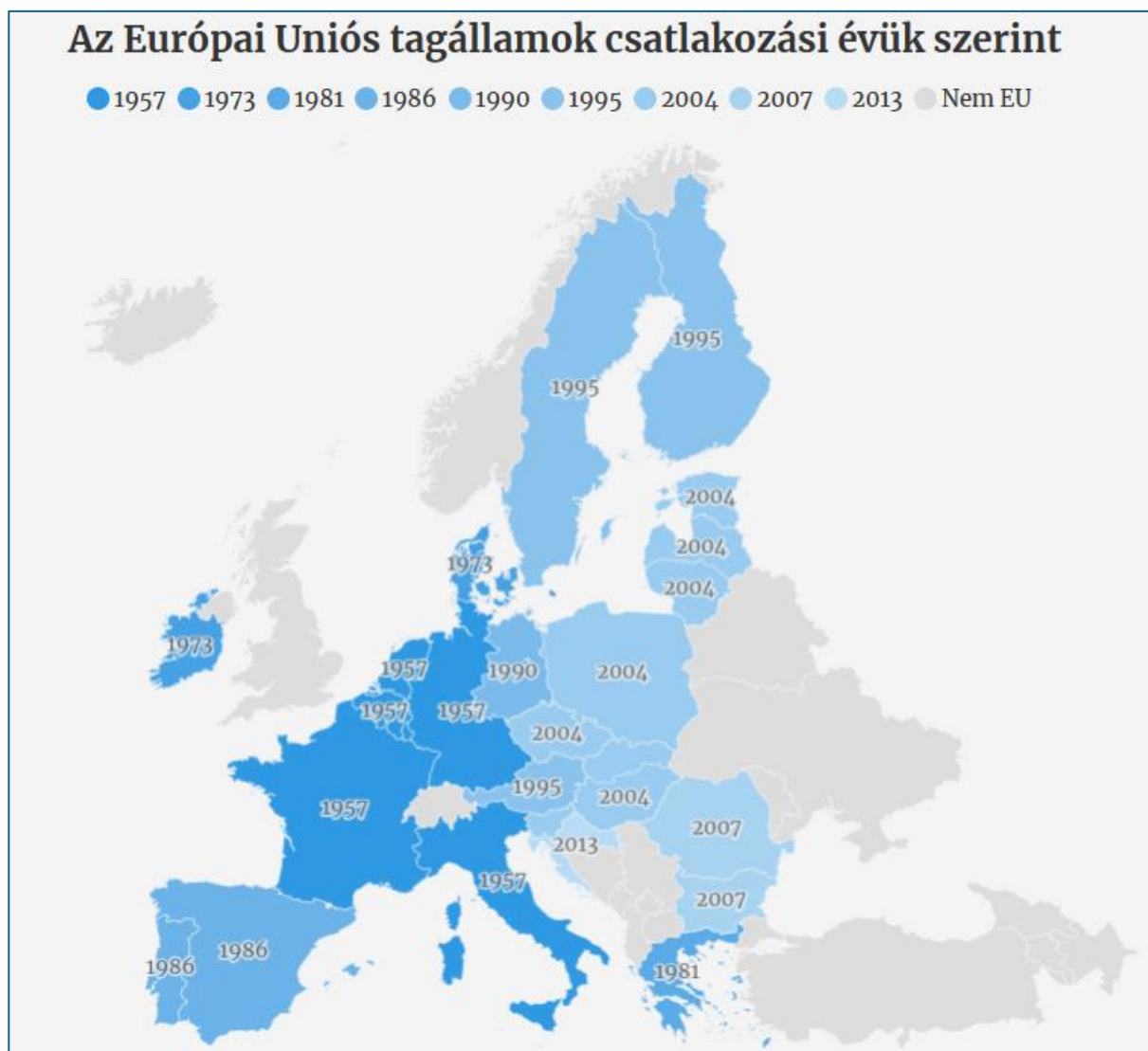
Színes, utánozhatatlan egyénisége, agilítása, rámenőssége, meggyőző képessége közismert volt. Vezetőként kettősség jellemezte. Egyfelől próbált határozottan és szívesen fellépni bizonyos témákban, ugyanakkor érzelmileg viszonyult a legtöbb dologhoz. Mindez hozzájárult ahhoz, hogy az ÖKO egy igazi közösség lett, inkább hasonlított egy családhoz, mint egy tipikus vállalkozáshoz.

Sándor, több, mint 60 évig dolgozott a vízgazdálkodásban, a környezetvédelemben, 33 évet az ÖKO Zrt-ben. Az ÖKO Zrt. életében döntő szerepet játszott, nemcsak kollégaként, főnökként, hanem jóbarátként is gondolunk rá.

Emlékét kegyelettel megőrizzük!



Rákosi Judit, Tombác Endre
az ÖKO Zrt. munkatársai



*2024-ben Magyarország 20 éve csatlakozott az Európai Unióhoz
A Hidrológiai Közlöny 2024. év utolsó száma foglalkozik a vízgazdálkodás területén az EU-tagság 20 éve során elért sikerekkel és a megélt kihívásokkal*

A **HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY** elsősorban hidrológiával, vízgazdálkodással és a kapcsolódó szakterületeket érintő tudományos megalapozottságú szakmai közlemények megjelentetésére ad teret. Ezek mellett a **FÓRUM** rovatban lehetőség van szakmai érdekességek, újdonságok közzétételére is. A **TÖRTÉNELMI PILLANATKÉP** rovatban a régmúlt vízügyi eseményeinek állítunk emléket. Módot adunk továbbá szakkönyvek bemutatására a **KÖNYVISMERTETÉS** rovatban.

A közlésre szánt kéziratot elektronikus formában lehet benyújtani Word (.doc vagy .docx) állományban, maximum 30 oldal terjedelemben a hk@hidrologia.hu e-mail címre. Eredeti műveket, azaz más folyóiratban, kiadványban korábban még nem közölt kéziratokat fogadunk el. Amennyiben a kézirat tartalma már valamilyen formában megjelent hazai vagy külföldi (idegennyelvű) kiadványban, illetve másodközlésnek minősül, azt a kézirat beküldésekor jelezni kell.

A kézirat mellett lehetőség van a témához szorosan kapcsolódó további elektronikus formátumú információk (pl. Excel file, előadás pdf formátuma, videó) csatolására is, melyek a közlemény online változatával együtt jelennek meg.

A kézirat beérkezését követően a Szerkesztőbizottság visszaigazolást küld a szerzőnek és a közleményt szakmai bírálóknak adja ki. A bírálatok alapján a kéziratot a Hidrológiai Közlöny: a) elfogadja megjelentetésre; b) javításokat, kiegészítéseket, módosításokat javasol; c) nem fogadja el közlésre. A közlésre elfogadott kézirat esetében a grafikus elemeket (ábra, kép, táblázat) külön elektronikus állományban is meg kell küldeni a Szerkesztőség részére.

FORMAI KÖVETELMÉNYEK

Kérjük, közleményük készítésekor tanulmányozzák a részletes közlési útmutatót (https://www.hidrologia.hu/wp-content/uploads/2024/04/Hidrologiai-Kozlony-Kozlesi-Utmutato_MAGYAR_2024.pdf), melyből közzéteszünk néhány előírást:

A szakmai közlemény kötelező részei: cím, szerző(k) teljes neve, a szerző(k) munkahelye és e-mail címe, magyar nyelvű kivonat, magyar kulcsszavak, angol nyelvű cím, angol kivonat (Abstract), angol kulcsszavak (Keywords), törzsszöveg fejezetekre tagolva, irodalomjegyzék, szerző(k) életrajzi adatai és fényképe (portrékép). Az ábra-, kép- és táblázatcímek angol változatát is meg kell adni.

A használt betűtípus: Times New Roman, szimpla sorközzel, sorkizárt rendezéssel. Az oldal A4-es méretű, 2,5 cm-es margóval.

A közleményben más szerzők műveiből átvett szövegrészeknél, ábráknál, fényképeknél, táblázatoknál, internetes forrásoknál, adatbázisoknál feltétlenül hivatkozni kell a felhasznált forrásra. Kérjük, hogy lábjegyzetet ne használjanak.

2024-től már angol nyelvű kéziratokat is fogadunk, melyek külön kötetbe rendezve jelennek meg. Az angol nyelvű kéziratok részletes közlési útmutatója: https://www.hidrologia.hu/wp-content/uploads/2024/04/Hidrilogiai-Kozlony-Kozlesi_Utmutato_ANGOL_kivonat.pdf