

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY

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



70 ÉVES A VÍZÜGY

A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 103. ÉVF. 4. SZÁM • 2023
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 103. No. 4. • 2023





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

Lippai Anett, Farkas Rózsa, Szuróczi Sára, Szabó Attila, Felföldi Tamás, Marwene Toumi, Tóth Erika: Két budapesti termálfürdő mikrobiológiai vizsgálata (Budapest, Magyarország) – a fürdőzés és a medenceüzemeltetés hatása a vízminőségre 4

Nagy Eszter Dóra: Sebesség alapú számítási módszer adaptálása hazai kisvízgyűjtőkön 16

Szilágyi József: Egy termodinamikai alapú, rugalmas, minimális adatigényű területi párolgásbecslő módszer bemutatása a hazai vízgazdálkodás számára 25

Kis Anna, Pongrácz Rita, Bartholy Judit, Szabó János Adolf: Az éghajlatváltozás várható hatásának integrált, modell alapú becslése a Felső-Tisza vízjárására, a bizonytalanság számszerűsítésével 35

Csoma Rózsa: A szivárgási tényező jelentősége kavicsbányatavak hatásvizsgálata esetén 52

Demény Krisztina, Bakó Gábor, Molnár Zsolt, Molnár András, Vers József: Nagyfelbontású Repülőgépes Monitoring Hálózat módszertanának alkalmazása nádas mintaterületen, a tihanyi Külső-tavon 63

FÓRUM

Borsányi Mátyás: Ivóvízbiztonság javítása a vezetékes ivóvízellátási lánc veszélyeinek felderítése, a kockázatok értékelése és csökkentésük útján – az Ivóvízbiztonsági szakmai nap előadásainak összefoglalói és ajánlásai 73

ESEMÉNYEK

Major Veronika: PLANET BUDAPEST 2023 76

Fejér László: A fél évszázados Magyar Környezetvédelmi és Vízügyi Múzeum 77

KÖNYVISMERTETÉS

Somlyódy László és Somlyódy Nóra: Egy élet a Balaton körül 78

NEKROLÓG

Ift Miklós – Szlávik Lajos megemlékezése 79

Reskóné Dr. Nagy Mária – Ács Éva, Borsodi Andrea, Kiss Keve Tihamér és Teszárné Nagy Mariann megemlékezése 80

Dr. Forró László – Zsuga Katalin és Korponai János megemlékezése 81

Dr. Scheuer Gyula – Kele Sándor megemlékezése 82

Dr. Domokos Miklós – Szlávik Lajos megemlékezése 83

Várszegi Csaba – Szlávik Lajos megemlékezése 84

Címlapkép: 70 éves a vízügy (OVF)



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 KEREKESNÉ 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	
Anett LIPPAI, Rózsa FARKAS, Sára SZURÓCZKI, Attila SZABÓ, Tamás FELFÖLDI, Marwene TOUMI, Erika TÓTH: Microbiological investigations of two thermal baths (Budapest, Hungary) – effect of bathing and pool operation type on water quality	4
Eszter Dóra NAGY: Applicability of a velocity-based approach for time of concentration estimation in Hungarian catchments	16
József SZILÁGYI: Presentation of a thermodynamic-based, flexible, minimum data-required land evaporation estimation method to support national water management	25
Anna KIS, Rita PONGRÁCZ, Judit BARTHOLY, János Adolf SZABÓ: An integrated, model-based estimation of the projected impact of climate change on the Upper-Tisza, with the quantification of uncertainty	35
Rózsa CSOMA: The importance of the hydraulic conductivity in case of the impact assessment of gravel pits	52
Krisztina DEMÉNY, Gábor BAKÓ, Zsolt MOLNÁR, András MOLNÁR, József VERS: Using High-Resolution Aerial Monitoring Network methodology in a reed sample area on the Outer Lake of Tihany	63
FORUM	
Mátyás BORSÁNYI: Improving drinking water safety by detecting the dangers of the drinking water supply chain, assessing the risks and reducing them - summaries and recommendations of the presentations of the Drinking Water Safety Professional Day	73
EVENTS	
Veronika MAJOR: PLANET BUDAPEST 2023	76
László FEJÉR: The half-century old Museum for Water Management	77
BOOK REVIEW	
László SOMLYÓDY and Nóra SOMLYÓDY: A Lifetime Around Lake Balaton	78
OBITUARY	
Miklós IFT – Commemoration by Lajos SZLÁVIK	79
Dr. Mária NAGY RESKÓNÉ – Commemoration by Éva ÁCS, Andrea BORSODI, Keve Tihamér KISS and Mariann NAGY TESZÁRNÉ	80
Dr. László FORRÓ – Commemoration by Katalin ZSUGA and János KORPONAI	81
Dr. Gyula SCHEUER – Commemoration by Sándor KELE	82
Dr. Miklós DOMOKOS – Commemoration by Lajos SZLÁVIK	83
Csaba VÁRSZEGI – Commemoration by Lajos SZLÁVIK	84

Cover image: The Water Management is 70 years old (OVF)

Előszó



Az 1953. október 1-én megalakított egységes vízügyi államigazgatás 70 éves. A születésnap alkalmából címlapunkkal emlékezünk elődeinkre és köszöntjük az ágazatban dolgozó munkatársainkat!

A Hidrológiai Közlöny 103. évfolyamának (2023) 4. száma a termálfürdők higiénés felmérésétől a repülőgépes monitoringig vezet olvasóit.

Lippai Anett, Farkas Rózsa, Szuróczi Sára, Szabó Attila, Felföldi Tamás, Marwene Toumi és Tóth Erika „Két budapesti termálfürdő mikrobiológiai vizsgálata (Budapest, Magyarország) – a fürdőzés és a medenceüzemeltetés hatása a vízminőségre” című közleménye átfogó képet ad a vízforgatással rendelkező és a töltő-ürítő üzemeltetésű medencék higiénés viszonyairól.

Nagy Eszter Dóra a „Sebesség alapú számítási módszer adaptálása hazai kisvízgyűjtőkön az összegyülekezési idő számítására” című dolgozatában hat kisvízgyűjtőn az áramlási sebesség alapján számít összegyülekezési idő értékeket. Ezeket összehasonlítva a csapadék-lefolyás időszakból kapott összegyülekezési idő értékekkel megállapítja, hogy a sebesség alapú eljárás alkalmatlan az összegyülekezési idő becslésére.

Huszonkét év kutatási munkájának eredményét teszi közzé *Szilágyi József* az „Egy termodinamikai alapú, rugalmas, minimális adatigényű területi párolgásbecslő módszer bemutatása a hazai vízgazdálkodás megtámogatásához” című közleményében. Az ismertetett termodinamikai alapú, minimális adatigényű becslési eljárás előnye, hogy mindössze két, könnyen kalibrálható paramétert tartalmaz. A módszer megbízható és rugalmas becslési opciót kínál a klímaváltozást is figyelembe veendő vízgyűjtő szintű vízgazdálkodás megtámogatásához.

Hogyan változnak rövid és hosszútávon a klimatikus viszonyok? Miként reagálnak erre folyóink? Erre a kérdésre keresi a választ *Kis Anna, Pongrácz Rita, Bartholy Judit és Szabó János Adolf* „Az éghajlatváltozás várható hatásának integrált, modell alapú becslése a Felső-Tisza vízjárására, a bizonytalanság számszerűsítésével” című közleményében. Eredményeik szerint a XXI. század során a nyári hónapok lefolyásának jelentős csökkenése valószínűsíthető. Bár a harmadfokú árvízvédelmi készültségi szintet meghaladó esetek száma várhatóan szignifikánsan kevesebb lesz a XXI. század közepére és végére, azonban ezek időnként árvíz-tömegükben súlyosabbak lehetnek a jelenleg megszokottaknál.

A szivárgási tényező a műszaki és a földtani gyakorlat egyik legbizonytalanabban becsülhető jellemzője, ám pontos ismeretének jelentősége vitathatatlan. *Csoma Rózsa* „A szivárgási tényező jelentősége kavicsbányatavak hatásvizsgálata esetén” című tanulmánya a szerző sokéves tapasztalata segítségével ad útmutatást a rendelkezésre álló

számítási/becslési módszerek alkalmazhatóságáról, hangsúlyozva a jól megválasztott helyen helyszíni méréssel megalapozott szivárgási tényező meghatározásának fontosságát.

Demény Krisztina, Bakó Gábor, Molnár Zsolt, Molnár András és Vers József a „Nagyfelbontású Repülőgépes Monitoring Hálózat módszertanának alkalmazása nádas mintaterületen, a tihanyi Külső-tavon” című közleményükben az új, centiméter alatti felbontású részletességű ortofotókat készítő eljárás alkalmazási lehetőségét mutatják be.

A FÓRUM rovatban *Borsányi Máttyás* számol be a megújuló szabályozási és követelményrendszer változásával kapcsolatos ivóvízbiztonsági kérdésekről.

A KÖNYVISMERTETÉS rovatban *Somlyódy László és Somlyódy Nóra* „Egy élet a Balaton körül” című könyvről számolunk be. A könyvben apa és lánya beszélget a családról, a gyökerekről, a többszöri újrakezdésről és egy gazdag és eredményes szakmai életéről. A könyv előszavában Szöllősi-Nagy András a tőle megszokott briliáns gondolatokkal csigázza fel az olvasó érdeklődését. Mi is ez a „*Letehetetlen olvasmány? Korkép és kórkép?*”

Az év legnagyobb fenntarthatósági eseménye a PLANET BUDAPEST 2023 Fenntarthatósági Expó és Élményprogram volt, melyről az ESEMÉNYEK rovatban számolunk be. Szintén itt mutatjuk be az 50 éves esztergomi Duna Múzeumot, ahol – akár virtuálisan is (<http://dunamuseum.hu>) – megismerkedhetünk mindazzal az értékkel és tudással, amit a vizes ágazat tett le közös asztalunkra az elmúlt párszáz évben.

A NEKROLÓG rovatban öt kitűnő szakembertől, baráttól köszönünk el. Búcsúzunk *Ift Miklóstól*, a KAVÍZ Kaposvári Víz- és Csatornamű Kft. ügyvezető igazgatójától. Elbúcsúzunk *Reskóné dr. Nagy Máriától*, a Balaton és a Velencei-tó szakmai szerelmesétől, aki kollégáit, barátait nemcsak szakmaszeretetre, de emberségre is tanította. Búcsút veszünk *dr. Forró László* hidrobiológustól, aki 1978 óta volt a Magyar Természettudományi Múzeum Rákóczi és egyéb vízi gerintelenek gyűjteményének főmuzeológusa, valamint az Állattár igazgatója. 91 évesen, hosszú és sikeres szakmai pályafutása után hagyott itt bennünket *dr. Scheuer Gyula* hidrogeológus, a mészki szerelme. Tisztelettel búcsúzunk egyúttal *Várszegi Csabától* és *dr. Domokos Miklóstól*, régi VITUKI-s kollégánktól, aki 64 éven át volt a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

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 hamarosan megjelenő közlési útmutató alapján várjuk a magyar nyelvű dolgozatokhoz hasonló, magas tudományos színvonalú angol közleményeket! *Good luck!*

Dr. Major Veronika
a Hidrológiai Közlöny főszerkesztője

Két budapesti termálfürdő mikrobiológiai vizsgálata (Budapest, Magyarország) – a fürdőzés és a medenceüzemeltetés hatása a vízminőségre

Lippai Anett^{*,**}, Farkas Rózsa^{*}, Szuróczi Sára^{*}, Szabó Attila^{*}, Felföldi Tamás^{*}, Marwene Toumi^{*}, Tóth Erika^{*}

^{*} Eötvös Loránd Tudományegyetem, Mikrobiológiai Tanszék

^{**} Biokör Technológiai és Környezetvédelmi Kft. (e-mail: lippai.anett@gmail.com)

DOI:10.59258/hk.13169



Kivonat

Magyarországon a fürdővizek vizsgálata a jogszabályoknak megfelelően higiénés megközelítésből történik, szabványos módszerek alkalmazásával. Munkánk során két termálfürdő vizsgálatát végeztük el (a kútvizektől a különböző üzemeltetésű medencéig) tenyésztési módszerekkel, valamint molekuláris módszereket alkalmazva, mint a taxon-specifikus polimeráz láncreakció (PCR), multiplex PCR és az újgenerációs szekvenálás. A termálfürdőkből főként olyan baktériumokat mutattunk ki, amelyek a vizek természetes közösségalkotói, azonban néhány opportunistá patogén taxon pl. *Pseudomonas aeruginosa*, *P. stutzeri*, *Acinetobacter johnsoni*, *Acinetobacter baumannii*, *Moraxella osloensis*, *Microbacterium paraoxydans*, *Legionella* spp., *Stenotrophomonas maltophilia* és *Staphylococcus aureus* is megjelent az általunk alkalmazott módszerekkel. A töltő-ürítő üzemeltetésű medencékre magasabb mikroszkópos sejtszám, összes heterotróf csíraszám, microcococcus szám, és magasabb *P. aeruginosa* és *S. aureus* szám volt jellemző, mint a vízforgatásos medencékre. Azok a baktériumok, amelyek egyértelműen humán eredettel hozhatók összefüggésbe (pl. bőr eredettel) a medencékben kisebb, mint 1% relatív abundancia értékkel rendelkeztek, előfordulásuk sporadikus (szórványos) volt. Az első, majd az azokat követő 4 hónapon át tartó mintavételek higiénés eredményei azt mutatták, hogy a vízforgatással rendelkező medencék jobb vízminőséggel rendelkeznek, mint a töltő-ürítő üzemeltetésű medencék.

Kulcsszavak

Amplikon szekvenálás, bakteriális diverzitás, medence üzemeltetés, fürdő, kútvizek és medencevizek.

Microbiological investigations of two thermal baths (Budapest, Hungary) – effect of bathing and pool operation type on water quality

Abstract

In Hungary, which is famous for its thermal baths, according to the regulations, waters are investigated in hygienic aspects with standard cultivation methods. In the present study, two thermal baths were investigated (the well and three different pool waters in both) using cultivation methods, taxon-specific polymerase chain reactions (PCRs), multiplex PCRs and next-generation amplicon sequencing. Mainly members of the natural microbial community of the well waters and bacteria originating from the environment were detected but several opportunistic pathogenic taxa, e.g. *Pseudomonas aeruginosa*, *P. stutzeri*, *Acinetobacter johnsoni*, *Acinetobacter baumannii*, *Moraxella osloensis*, *Microbacterium paraoxydans*, *Legionella* spp., *Stenotrophomonas maltophilia* and *Staphylococcus aureus* were revealed by the applied methods. Pools with charging-unloading operation had higher microscopic cell counts, colony-forming unit (CFU) counts, number of cocci, *P. aeruginosa* and *S. aureus* compared to the recirculation systems. Bacteria originating from human sources (e.g. skin) were identified in the pool waters with less than 1% relative abundance, and their presence was sporadic in the pools. Comparing the microbiological quality of the pools based on the first sampling time and the following four months' period it was revealed that recirculation operation type has better water quality than the charging-unloading pool operation from a hygienic point of view.

Keywords

Amplicon sequencing, bacterial diversity, pool operation type, spa, well and pool waters.

BEVEZETÉS

Magyarország fővárosa méltán híres gazdag termálvíz készletéről. A termálvizek felhasználása igen széles körű, alkalmazásuk főként gyógyászati és rekreációs célú (Goldscheider és társai 2010). A közös fürdőzésnek ismert mikrobiológiai kockázatai vannak, ezért a fürdővizek fertőtlenítése, a közegészségügyi szempontból veszélyt jelentő mikroorganizmusok eliminálása a megfelelő higiénés állapot fenntartásához nélkülözhetetlen (Peters 2016). Magyarországon a 37/1996 (X.18.) NM rendeletnek megfelelően a medencevizek üzemeltetésének két típusa van: a vízforgatásos medencék, amelyek szűrő-forgató berendezéssel ellátottak és a vizeket üzemelés közben folyamatosan fertőtlenítik, illetve a töltő-ürítő medencék, amelyek fertőtlenítés nélkül üzemelnek. Fertőtlenítés során leggyakrabban a klór-alapú fertőtlenítőszeret használják,

amelyeknek néhány hátránya is ismert, pl. a klór-rezisztens mikroorganizmusok kialakulása és elterjedése, valamint a klórozási melléktermékek jelenléte (Peters 2016). Magyarországon a jelenlegi szabályozás értelmében a termálvizek fertőtlenítése akkor megengedett, ha az alkalmazott fertőtlenítőszer nem károsítja azokat a kémiai komponenseket (pl. bromid, szulfid, jodid), amelyek a gyógyhatásért felelősek, bár megjegyzendő, hogy ezt a hatásmechanizmust laboratóriumi és klinikai kísérletek még nem támasztották alá. Ezt a jogi szabályozást követve számos magyarországi termálfürdőben üzemeltetnek töltő-ürítő medencéket, amelyeket friss pótvízzel (kútvízzel) töltenek fel a fürdőzés során (Vargha és társai 2015).

A termálvizeket – beleértve a kútvizeket és medencevizeket – rendszeresen vizsgálni kell az üzemeltetőnek, továbbá az illetékes hatóság is végez ellenőrzéseket. A

laboratóriumi vizsgálatok során szabványos tenyésztési módszerekkel történik a higiénés paraméterek kimutatása. A vizsgálatok kiterjednek a fekális eredetű mikrobák (pl. termotoleráns coliform), a nem fekális eredetű szennyeződést mutató baktériumok (*Legionella* spp., *Pseudomonas* spp., *Staphylococcus aureus*), valamint a patogén vagy fakultatív patogén mikroorganizmusok azonosítására is (MSZ 13690-3:1989, MSZ 15234:2012, 49/2015 (XI.6.)).

A termálfürdők mikrobiális közösségének vizsgálatával kapcsolatban azonban igen kevés információ áll rendelkezésünkre, kevés olyan kutatást ismerünk, amelyek a tenyésztési, mikroszkópos és molekuláris módszereket együttesen alkalmazzák a vizek „rejtett” diverzitásának feltárása érdekében (Vartoukian és társai 2010). Néhány molekuláris vizsgálatot (PCR, kvantitatív PCR, microarray vizsgálatok) már alkalmaztak korábban kórokozók kimutatására (Deshmukh és társai 2016), azonban ezek a módszerek mindig az adott patogén mikrobára fókuszálnak. Az újgenerációs szekvenálás azonban lehetőséget biztosít arra, hogy azonosítsuk és jellemezzük a vizsgált ökoszisztéma mikrobiális közösségét akkor is, ha a közösség egyes tagjai alacsony számban vannak jelen (Ghilamical és társai 2017).

Munkánk során két budapesti termálfürdő vizsgálatát végeztük el (TB1 és TB2). A TB1 fürdőt ellátó kútvíz 372 méter mélyről, 44 °C-os hőmérséklettel tör a felszínre, míg a TB2 termálfürdő kútvíze 1246 méter mélyről, 76 °C-kal érkezik a fürdőbe. Mindkét fürdőre jellemző, hogy különböző hőmérsékletű, elhelyezkedésű és üzemeltetésű medencékkel rendelkezik. Munkánk célkitűzései a következők voltak: 1) a kútvizek természetes mikrobaközösségeinek vizsgálata, 2) a medencék üzemelte-

tésének a mikrobiális közösségekre kifejtett hatásának vizsgálata, továbbá 3) a termálvizek higiénés státuszának jellemzése és a fürdőzők hatásának vizsgálata. Munkánk során tenyésztési és tenyésztéstől független módszereket alkalmaztunk.

MÓDSZEREK

Mintavétel

A TB1 termálfürdő esetében a kútvíz mintavétele (W1) a fürdőben található falikútból történt, továbbá mintát vettünk három medencéből (PCU38_1, PCU20_1, PCIRC38_1). A TB2 termálfürdőben a kútvíz mintavétele (W2) szintén ivókútból történt és a TB1 fürdőhöz hasonlóan három medencéből (PCU38_2, PCU20_2, PCIRC38_2) történt mintavétel. A kútvizek és a medencék jellemzőit az 1. táblázat szemlélteti.

Az első mintavételeket követően további 4 alkalommal vettünk mintát: (1) a fürdők nyitását megelőzően és (2-4) a fürdők nyitását követően a kútvizekből és a medencevizekből egyaránt. Utóbbi esetekben feljegyeztük a medencékben tartózkodó fürdőzők számát is.

A vízminták vétele (1 liter/minta) aszeptikus módon, tiszta, steril üveg edényzetbe történt, amelybe sterilizálás előtt nátrium-tioszulfát-pentahidrátot adagoltunk a vízmintákban esetlegesen található fertőtlenítőszer semlegesítése céljából. A kútvizek mintavétele falikútból/ivókútból történt, a medencevizeket 10-30 cm-re a vízfelszíntől, merítéses módszerrel vételeztük, követve az MSZ EN ISO 19458:2007 szabvány utasításait. A vízmintákat jégakkukkal ellátott hűtőládában szállítottuk (4 °C) a laboratóriumba, a mintafeldolgozást a mintavételt követő 1 órán belül elkezdtük.

1. táblázat. Mintavételi helyek és azok jellemzői

Megjegyzés: W=kútvizek, CU=töltő-türítő üzemeltetésű medencék, CIRC=vízforogtató medencék. NA=nem értelmezhető

Table 1. Characteristics of the samples

Note: W1, W2: well; PCU38_1, PCU20_1, PCIRC38_1, PCU38_2, PCU20_2, PCIRC38_2: pools. NA: not applicable; CU: charging-unloading systems; CIRC: recirculation systems

Minta jele	Hőmérséklet (°C)	Elhelyezkedés	Üzemeltetés	Fürdőzők száma a mintavételkor
W1	44	NA*	NA*	NA*
PCU38_1	38	Beltéri	CU	12
PCU20_1	20	Beltéri	CU	1
PCIRC38_1	38	Kültéri	CIRC	8
W2	76	NA*	NA*	NA*
PCU38_2	38	Beltéri	CU	1
PCU20_2	20	Beltéri	CU	1
PCIRC38_2	38	Kültéri	CIRC	11

*nincs adat

Kútvizek fizikai és kémiai jellemzőinek vizsgálata

A kútvizek fizikai-kémiai vizsgálataihoz szabványos módszereket alkalmaztunk az alábbi szabványok szerint: nátrium és kálium tartalom meghatározás az MSZ EN ISO 11885:2009, kalcium tartalom az MSZ 448-3:1985, magnézium tartalom az MSZ 448-3:1985, klorid tartalom az MSZ 448-15:1982, fluorid tartalom az MSZ EN ISO 10304-1:2009, szulfát tartalom az MSZ 448-13:1983 és hidrogén-karbonát tartalom az MSZ EN ISO 9963-2:1998 alapján.

Szabványos mikrobiológiai vizsgálatok

A fürdővizek higiénés állapotának vizsgálataihoz szintén szabványos módszereket használtunk: fekáli coliform, micrococcus, *S. aureus* és *Pseudomonas aeruginosa* kimutatása az MSZ 13690-2:1989; *Legionella* spp. meghatározás az MSZ EN ISO 11731-2:2008; az összes telepszám vizsgálata pedig az MSZ EN ISO 6222:2000 szabványok szerint történtek, utóbbi esetben húspepton (DSMZ medium 1, www.dsmz.de) és 10% R2A agar táptalajok felhasználásával (DSMZ medium 830).

Vízminták mikroszkópos sejtszámának meghatározása

A fürdővízben található baktériumok mikroszkópos sejtszámát DAPI festést követően epifluoreszcens mikroszkóp (Nikon 80i) és Image ProPlus programcsomag segítségével határoztuk meg (Máthé és társai 2014). A medencevizekből 10 ml-t, a kútvizekből 200 ml-t koncentráltunk steril polikarbonát szűrőn keresztül (Millipore, Billerica, MA, USA), majd a filtereket 2%-os paraformaldehid oldatban termosztáltuk egy éjszakán át 4 °C-on.

Speciális tenyésztési vizsgálatok és az izolált baktériumtörzsek azonosítása

A speciális tenyésztési vizsgálatok során 10% R2A táptalajt, valamint szerves anyagokat alacsony koncentrációban tartalmazó úgynevezett Minimál Médium táptalajt alkalmaztunk, amelyeket kétféle szilárdító ágenssel láttunk el: agar-aggal és gellángumival (Szuróczki és társai 2016). A táptalajok elkészítéséhez desztillált víz helyett a fürdők saját kútvizét használtuk fel. A lemezeket a W1 kútvíz esetében 44 °C-on 9 napig, a W2 kútvíz esetében 55 °C-on 7 napig inkubáltuk. A PCU38_1, PCU38_2, PCIRC38_1, PCIRC38_2 vízmintákat 37 °C-on 7 napig, míg a PCU20_1 és PCU20_2 vízmintákat 20 °C-on 7 napig termosztáltuk. A kútvizek tenyésztési vizsgálata során PUF (poliuretán) tömbökkel ellátott dúsító leveket is alkalmaztunk (Szuróczki és társai 2016), ezekben az esetekben a W1 kútvizét 44 °C-on 3 héten át, a W2 kútvizet pedig 55 °C-on, szintén 3 héten át inkubáltuk.

Az izolált baktériumtörzsekből a DNS kivonását Szuróczki és társai (2016) által leírt módon; a 16S rRNA gén felszaporítását pedig Kalwasinska és társai (2015) által leírt módon végeztük el. A felszaporított 16S rRNA gén fragmentumokat *Bsu*RI és *Msp*I enzimekkel emésztettük, majd a baktériumtörzseket ARDRA módszer szerint csoportosítottuk. A csoport reprezentatív és a csoportokon kívül eső baktériumtörzsek 16S rRNA génszekvencia analízisét a Szuróczki és társai (2016) által leírt módon végeztük el, minimum 98,65% szekvenciaazonosság esetében tekintettük a törzseket azonos fajba tartozónak (Kim és társai 2014). A szekvenciák a GenBank adatbázisban az MH790296-MH790311, MH915675-MH915682 és MH917333-MH917341 (TB1 fürdő), valamint az MN096612-MN096646 és MN096669-MN096733 (TB2 fürdő) azonosítók alatt érhetőek el.

Molekuláris módszerek

A vízminták molekuláris vizsgálataihoz a medencevizekből 200 ml-t, a kútvizekből 500 ml-t koncentráltunk steril, celullóz-észter filteren keresztül (Whatman ME 25/21 STL, GE Healthcare Life Sciences, New Jersey, USA).

Taxon-specifikus PCR vizsgálatok

A taxon-specifikus PCR vizsgálatok során a következő baktériumok kimutatása történt: *P. aeruginosa*, Lavenir és társai (2007) által; *Legionella* spp., Cloud és társai (2000) által; *Legionella pneumophila*, Fiume és társai (2005) által; coliform baktériumok Bej és társai (1990) által; *Acinetobacter baumannii*, Tsai és társai (2018) által; valamint *Stenotrophomonas maltophilia*, Filho és társai (2004) által leírt módszer alapján.

Multiplex PCR vizsgálatok

Multiplex PCR vizsgálatok segítségével mutattuk ki a széles spektrumú β -laktamáz és a makrolid rezisztenciáért felelős géneket: *ermA*, *ermB*, *ermC*, *msrA* és *mef* géneket minden mintából, követve Trung és társai (2015) és Zmantar és társai (2011) leírásait.

Újgenerációs szekvenálás (NGS)

A 16S rRNA gén felszaporítása, szekvenálása és a baktérium taxonok azonosítása Szabó és társai (2017) által leírt módon történt, azzal az eltéréssel, hogy a 27F (Lane 1991) és 534R primereket (Muyzer és társai 1993) használtuk fel a V1-V3 régiók felszaporításához. A szekvencia adatok az NCBI Sequence Read Archive adatbázisában a BioProject ID PRJNA602207 azonosító alatt találhatóak meg. A statisztikai értékelés során taxonómiai rangokat határoztunk meg. Amennyiben egy bizonyos értéket nem ért el az adott taxonómiai rang, azt a taxonómiai szintet úgynevezett unclassified (nem osztályozható) kifejezéssel jelöltük meg.

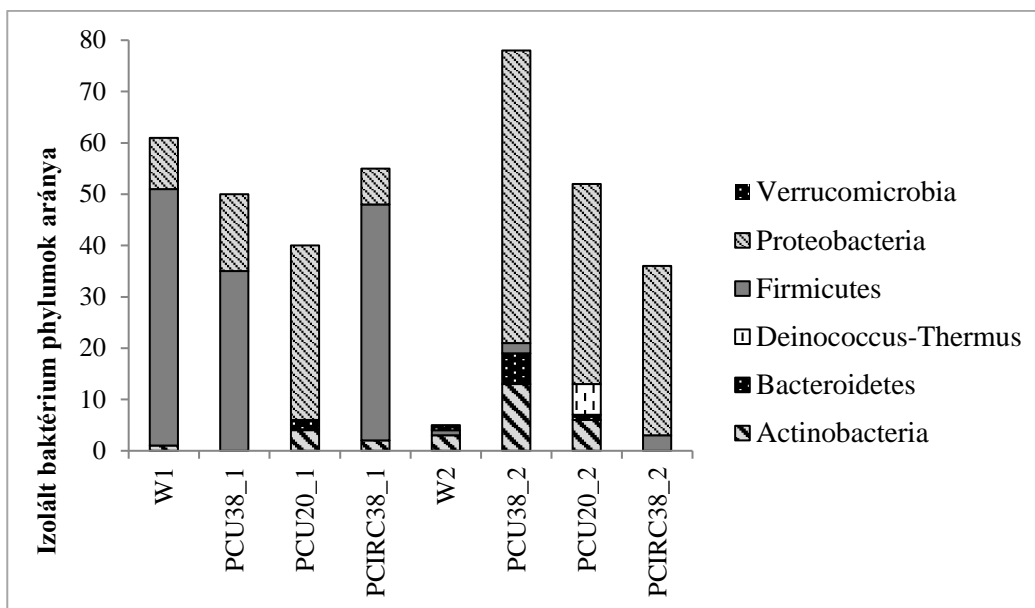
EREDMÉNYEK

Fizikai-kémiai vizsgálatok eredményei

A W1 kútvíz kémiai összetétele a következő: 155 mg/ml Na^+ , 148 mg/ml Ca^{2+} , 184 mg/ml Cl^- , 600 mg/ml SO_4^{2-} , 145 mg/ml F^- és 380 mg/ml HCO_3^- tartalom; a W2 kútvíz pedig 175 mg/ml Na^+ , 152 mg/ml Ca^{2+} , 195 mg/ml Cl^- és 550 mg/ml HCO_3^- tartalommal jellemezhető.

A baktériumközösségek vizsgálatainak eredményei Kútvizek mikrobiális közösségei

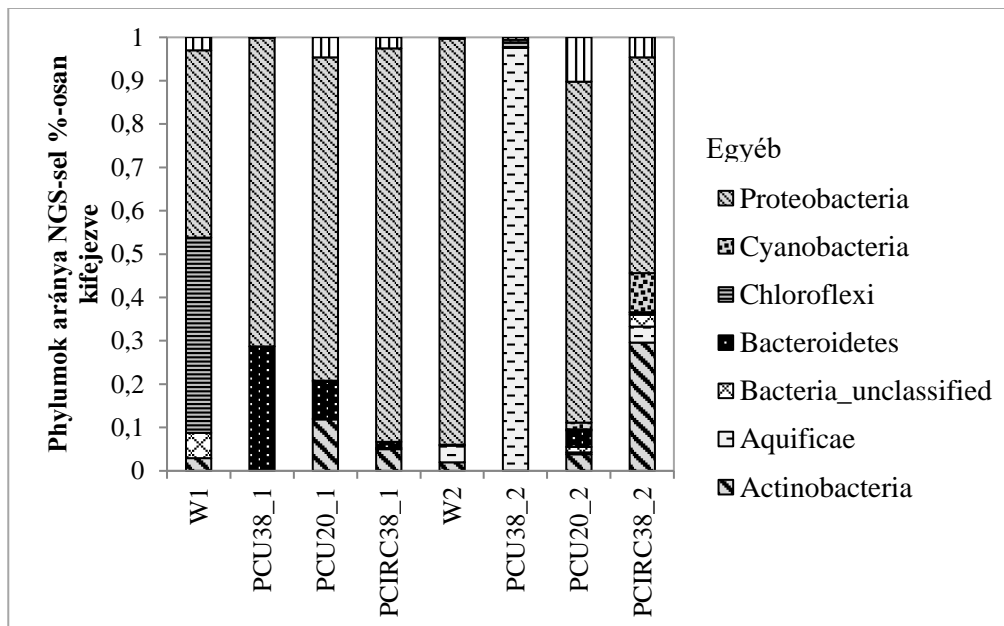
A tenyésztési vizsgálatok alapján a 44 °C-os TB1 termálfürdő kútvizében (W1 minta) a Firmicutes phylum tagjai domináltak, a Bacilli osztály képviselőit tudtuk kimutatni legnagyobb számban. Jellemző nemzetségek a kútvízben a *Brevibacillus*, a *Micrococcus*, a *Brevundimonas* és a *Ferrovibrio* voltak a tenyésztési vizsgálatok alapján. A 76 °C-os TB2 termálfürdő kútvíze (W2 minta) esetében dominánsnak az Actinobacteria phylumot találtuk, de megjegyzendő, hogy a tenyésztésbe vont izolátumok száma alacsony volt (1. ábra). A W2 kútvízben a W1 kútvízhez hasonlóan szintén kimutattuk a *Brevibacillus*, *Micrococcus* nemzetségeket, továbbá a W2 kútvíz egyedi jellemzői voltak a *Meiothermus*, a *Mycobacterium* és a *Roseimicrobium* nemzetségek is.



1. ábra. A vízmintákból tenyésztési módszerekkel kimutatott phylumok
 Megjegyzés: A minták jelölései megegyeznek az 1. táblázatban feltüntetett jelölésekkel
 Figure 1. Phylum-level distribution of bacterial strains detected in the water samples with cultivation
 Note: Notations showed in Table 1.

Újgenerációs szekvenálás (NGS) segítségével a TB1 termálfürdő esetében a Proteobacteria és a Chloroflexi phylum bizonyult dominánsnak, magas relatív abundancia értékekkel volt jellemezhető a Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria és az Anaerolineae osztály. A TB1 termálfürdő vizsgálata során számos esetben a statisztikai értékelésnél az „unclassified” (nem osztályozható) rangot jelöltük meg: az unclassified *Anaerolineae* (Anaerolineaceae) és unclassified *Zoogloea* (Rhodocyclaceae) csoport tagjai voltak ebben a fürdőben dominánsak. Viszonylag magas relatív

abundancia értékkel mutattuk ki továbbá a *Sulfurovum*, *Shewanella*, *Pseudomonas*, *Actinomyces*, *Mycobacterium* és *Thiofaba* nemzetségeket is. A TB2 termálfürdő esetében a Proteobacteria phylum szintén domináns volt, az Alphaproteobacteria és a Gammaproteobacteria osztály tagjait detektáltuk (2. ábra). Domináns nemzetségek ebben a termálfürdőben a *Methylobacterium* és a *Pseudomonas* voltak, továbbá magas relatív abundancia értékekkel azonosítottuk a *Sulfurihydrogenibium*, *Shewanella*, *Mycobacterium* és *Actinomyces* nemzetségeket is.



2. ábra. A vízmintákból kimutatott phylumok NGS vizsgálatok segítségével
 Megjegyzés: A minták jelölései megegyeznek az 1. táblázatban feltüntetett jelöléssel
 Figure 2. Phylum-level distribution of amplicon sequencing reads in the water samples detected with NGS
 Note: Notations showed in Table 1.

Medencevizek mikrobiális közösségei

Tenyésztéses vizsgálatok során a TB1 termálfürdő medencevizében a Firmicutes és Proteobacteria phylumok voltak dominánsak, a Bacilli és Betaproteobacteria osztály tagjait sikerült legnagyobb számban tenyésztésbe vonni. Ez alól kivételt a 20 °C-os medence jelentett (PCU20_1), ahol főként az Alphaproteobacteria osztály képviselőit mutattuk ki. A TB2 termálfürdő medencéiben szintén a Proteobacteria phylum volt domináns az Alpha- és Gammaproteobacteria osztályok jelenlétéből adódóan. A TB1 termálfürdő medencéinek jellemző baktérium nemzetségei: a *Brevibacillus*, a *Bacillus*, a *Hydrogenophaga* és a *Rhizobium* voltak, míg a TB2 termálfürdő esetében a *Ferrovibrio*, a *Pseudomonas*, a *Rheinheimera*, a *Microbacterium* és a *Porphyrobacter* nemzetség volt domináns.

A molekuláris vizsgálatok eredményei alapján mindkét fürdő medencéiben a Proteobacteria phylum (kivéve a PCU38_2 mintát), azon belül az Alpha-, a Beta- és a Gammaproteobacteria osztályok jelentek meg a legmagasabb relatív abundanciával, előfordulási arányuk azonban különböző volt az egyes medencékben. A tenyésztéses eredményekkel összehasonlítva a *Hydrogenophaga*, a *Pseudomonas*, a *Rheinheimera*, a *Rhizobium*, a *Flavobacterium*, az *Acidovorax*, a *Brevundimonas*, a *Shingomonas* nemzetségeket NGS segítségével is kimutattuk. Kizárólag molekuláris módszerrel azonosítottuk a *Sulfurovum*, a *Thiofaba*, a *Methylobacterium*, a

Methyloversatilis, a *Moraxella*, a *Cloacibacterium* és a *Sulfurihydrogenibium* nemzetségeket, mint a baktériumközösségek fontos tagjait.

Medencevizek higiénés vizsgálatainak eredményei Mikroszkópos sejtszám meghatározásának és a tenyésztéses, szabványos vizsgálatok eredményei

A mikroszkópos sejtszámok – ahogyan az összes telepesség értékek is – 1-2 nagyságrenddel magasabbak voltak a medencékben, mint a kútvizekben. A medencék magasabb sejtszám értékei a nyitás előtti (fürdőzők nélküli) minták esetében is megfigyelhetők voltak. A töltő-ürítő üzemeltetésű medencék sejtszáma szintén magasabbnak bizonyult a vízforgatásos medencékhez képest (2. táblázat).

Az összes heterotróf csíraszám a 10% R2A és húspepton agaron, valamint a *Micrococcus*, a *S. aureus* és a *P. aeruginosa* száma szintén minden esetben a töltő-ürítő medencék vizében volt magasabb. Fekál coliform és *Legionella* spp. baktériumokat nem mutattunk ki egyetlen mintából sem (3/a és 3/b táblázat). Az MSZ 13690-3:1989, az MSZ 15234:2012 és a 49/2015 (XI.6.) EMMI rendelet határértékei szerint a PCU38_1 minta (TB1 fürdő) a *Micrococcus* és *P. aeruginosa* esetében azonban meghaladta a határértékeket. A *P. aeruginosa* száma szintén határérték feletti volt a PCIRC38_1 (TB1) és a PCIRC38_2 (TB2) medencék esetében. A kútvizek minden esetben megfelelő higiénés minőségűek voltak.

2. táblázat. Mikroszkópos sejtszám meghatározásának eredményei 4 egymást követő hónap mintavételei során

Megjegyzés: A minták jelölése megegyezik az 1. táblázatban feltüntetett jelölésekkel
Table 2. Microscopic cell counts of the samples during the 4 months period

Note: Notations are shown in Table 1.

Minta jele	Mikroszkópos sejtszám nyitás előtt, 1. nap	Mikroszkópos sejtszám nyitás után, 2. nap	Mikroszkópos sejtszám nyitás után, 3. nap	Mikroszkópos sejtszám nyitás után, 4. nap
	sejt/ml			
W1	$1,5 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$	$5,9 \times 10^4$	$2,7 \times 10^4$
PCU38_1	$5,9 \times 10^5$	$3,9 \times 10^6$	$5,1 \times 10^5$	$2,4 \times 10^6$
PCIRC38_1	$2,0 \times 10^5$	$2,8 \times 10^5$	$8,6 \times 10^4$	$3,8 \times 10^5$
W2	$4,8 \times 10^3$	$5,5 \times 10^4$	$6,2 \times 10^3$	$3,9 \times 10^3$
PCU38_2	$1,9 \times 10^6$	$2,9 \times 10^6$	$9,8 \times 10^5$	$1,9 \times 10^6$
PCIRC38_2	$2,7 \times 10^4$	$2,0 \times 10^6$	$4,5 \times 10^5$	$7,5 \times 10^5$

3/a táblázat. A vízminták higiénés vizsgálata során kapott eredményei
Megjegyzés: A minták jelölései megegyeznek az 1. táblázatban feltüntetett jelöléssel
Table 3a. Hygienic parameters of the water samples. NA: not applicable

Note: Notations are shown in Table 1.

Minta jele	Mikroszkópos sejtszám	10% R2A médium	Nutrient médium	Fekál coliform szám	Micrococcus szám	<i>Staphylococcus aureus</i> száma	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> száma	<i>Legionella</i> spp. száma
	sejt/ml	TKE/ml		TKE/100 ml				
W1	$1,4 \times 10^4$	$1,7 \times 10^2$	$2,0 \times 10^1$	0	0	0	0	0
PCU38_1	$4,9 \times 10^6$	$4,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^4$	0	4 020*	18	80*	0
PCU20_1	$2,6 \times 10^6$	$1,7 \times 10^5$	$2,3 \times 10^3$	0	2 000	0	50	0
PCIRC38_1	$7,8 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,6 \times 10^3$ *	0	76	0	15*	0
W2	$6,1 \times 10^3$	$1,2 \times 10^2$	0	0	0	0	0	0
PCU38_2	$1,4 \times 10^6$	$6,4 \times 10^4$	$1,7 \times 10^3$	0	2 000	10	50	0
PCU20_2	$3,7 \times 10^5$	$8,2 \times 10^3$	$6,5 \times 10^3$	0	400	0	0	0
PCIRC38_2	$9,0 \times 10^5$	$2,2 \times 10^3$	$1,5 \times 10^2$	0	50	0	10*	0

*Meghaladja a jelenlegi szabályozás szerinti határértéket

*Exceeded the standard limit values

3/b táblázat. Határértékek az MSZ 13690-3:1989; az MSZ 15234:2012 szabványok és a 49/2015 (XI. 6.) EMMI rendelet szerint
Megjegyzés: A minták jelölései megegyeznek az 1. táblázatban feltüntetett jelöléssel

Table 3b. Standard limit values due to Hungarian regulation according to MSZ 13690-3:1989; MSZ 15234:2012 and 49/2015 (XI. 6.) EMMI Order

Note: Notations are shown in Table 1.

Üzemeltetés típusa	Határértékek				
	<i>E. coli</i>	Micrococcus	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>Legionella</i>
	TKE/100 ml				TKE/1000 ml
Töltő-ürítő	100	2 500	20	50	100
Vízforratásos	1	250	1	2	100

Taxon-specifikus PCR és multiplex PCR vizsgálatok eredményei

Taxon-specifikus PCR módszerrel *A. baumannii* és *L. pneumophila* baktériumokat egy mintából sem mutattunk ki. A *P. aeruginosa* megtalálható volt a PCU38_2 medencéző mintában (ezt a baktériumot tenyésztés

vizsgálatokkal nagy számban mutattunk ki szinte minden medencéből (3/a táblázat)). Coliform baktériumokat mindkét 38 C-os töltő-ürítő medencében detektáltunk (PCU38_1; PCU38_2), míg a *S. maltophilia* a TB2 fürdő minden mintájában és a TB1 fürdő PCU38_2 medence mintájában volt jelen (4. táblázat).

4. táblázat. Potenciális patogén szervezetek a két vizsgált budapesti termálfürdőben

Megjegyzés: A minták jelölései megegyeznek az 1. táblázatban feltüntetett jelölésekkel

Table 4. Potentially pathogenic bacteria identified from the two thermal baths in Budapest

Note: Notations are shown in Table 1.

Nemzetség	Fürdő	Vizsgálat	Fajok	Kockázati csoport	Lehetséges betegség	Medence típusa
<i>Acinetobacter</i>	TB1, TB2	NGS és tenyésztés	<i>johnsonii</i>	2	Pneumónia	CU*
			<i>baumannii</i>	2	Pneumónia, szepszis, meningitisz, húgyúti gyulladás	CU
<i>Moraxella</i>	TB1, TB2	NGS és tenyésztés	<i>osloensis</i>	2	kötőhártya gyulladás	CU és CIRC
<i>Cloacibacterium</i>	TB1, TB2	NGS	–	1	Húgyúti gyulladás	CU és CIRC
<i>Stenotrophomonas</i>	TB1, TB2	Taxon-specifikus PCR	<i>mastophiila</i>	2	Pneumónia, endocarditis	CU és CIRC
<i>Pseudomonas</i>	TB1, TB2	NGS, taxon-specifikus PCR és tenyésztés	<i>aeruginosa</i>	2	Bőrfertőzések, légúti szövetek gyulladása, húgyúti, gastro-intesztinális megbetegedések	CU és CIRC
			<i>alcaligenes</i>	2	Szepszis, endocarditis	CU és CIRC
			<i>stutzeri</i>	1	Szepszis, légúti, húgyúti megbetegedések	CU
<i>Legionella</i>	TB1, TB2	NGS	–	2	Legionárius betegség, Pontiac láz	CU és CIRC
<i>Staphylococcus</i>	TB1, TB2	NGS és tenyésztés	<i>aureus</i>	2	Bőrfertőzések, légúti, idegrendszeri megbetegedések	CU és CIRC
<i>Microbacterium</i>	TB1	tenyésztés	<i>paraoxydans</i>	1	Hashártya gyulladás, katéterrel összefüggő fertőzések	CIRC
<i>Brevundimonas</i>	TB1, TB2	NGS és tenyésztés	<i>nasdae</i>	1	Pneumothorax, mellhártyagyulladás	CU

*CU-töltő-ürítő üzemeltetésű medencék, CIRC-vízforratásos medencék

* CU-charging-unloading systems; CIRC-recirculation systems

Multiplex PCR vizsgálatokkal makrolid-rezisztencia géneket nem mutattunk ki, ESBL gének esetében

pozitív eredményt a PCU38_1 töltő-ürítő medencében kaptunk.

A tenyésztési vizsgálatok és az NGS eredményeinek összehasonlítása higiénés vonatkozásban

A vizsgáló módszerek összehasonlításánál fontos figyelembe venni, hogy molekuláris módszer segítségével több taxon detektálására volt lehetőség, mint a tenyésztési vizsgálatok során. Másrészt azonban az NGS segítségével nemzetségek szintjén tudtuk meghatározni a baktériumokat, míg a tenyésztés segítségével faji szintű információhoz jutunk.

A legtöbb potenciálisan patogén szervezetet tenyésztéssel és NGS segítségével is azonosítottuk (4. táblázat). Mindkét termálfürdő esetében kimutattunk olyan baktériumokat, amelyek összefüggésbe hozhatók humán eredettel (pl. bőrrel), azonban obligát kórokozókat nem, csupán néhány opportunistá patogén baktériumot izoláltunk a medencevizekből tenyésztési módszerekkel. Ilyen opportunistá patogén pl. a *Pseudomonas stutzeri* (PCU38_1), az *Acinetobacter johnsonii* (PCU20_1; PCU20_2), az *A. baumannii* (PCU20_2), a *Brevundimonas nasdae* (PCU20_1; PCU38_2), a *Pseudomonas alcaligenes* (PCIRC38_1; PCU38_2; PCU20_2), a *Microbacterium paraoxydans* (PCIRC38_1; PCU38_2), a *P. aeruginosa* (TB2 minden medencéjéből) és a *Moraxella osloensis* (PCU38_2; PCU20_2) (4. táblázat). Vizsgálataink alapján ezek előfordulási aránya a fertőtlenítést nem alkalmazó töltő-ürítő medencékben volt nagyobb. Az NGS vizsgálatok azt mutatták, hogy az opportunistá patogének relatív abundanciája (a *Pseudomonas* kivételével) minden mintában alacsony volt.

NGS módszer segítségével mutattuk ki a medencékből a *Moraxella* és a *Cloacibacterium* nemzetséget, amelyek viszonylag magas relatív abundancia értékkel rendelkeztek. Tenyésztéssel a *M. osloensis* a TB2 fürdő töltő-ürítő medencéiben is jelen volt, a vízforgatásos medencékből azonban nem sikerült tenyésztésbe vonni. A *Cloacibacterium* nemzetséget kizárólag NGS módszerrel azonosítottuk, melyek a vízforgatásos és a töltő-ürítő medencékben egyaránt előfordultak.

A fürdőző hatás és a medencék higiénés státuszának vizsgálata érdekében az NGS eredményeit 1% relatív abundancia alatt is megvizsgáltuk. Ebben az esetben számos olyan nemzetséget azonosítottunk, amelyek humán eredettel összefüggésbe hozhatók, mint pl. *Dermabacter*, *Dermacoccus*, *Mobilicoccus*, *Kytococcus*, *Enterococcus*, *Staphylococcus* (3. ábra). Ezek a baktériumok sporadikusan mindkét üzemeltetésű medencében előfordultak. Az *Acinetobacter* nemzetséget tenyésztéssel és molekuláris módszerrel is kimutattuk: az *A. johnsonii* a 20 °C-os töltő-ürítő medencékben (PCU20_1; PCU20_2), az *A. baumannii* baktérium pedig a TB2 termálfürdő töltő-ürítő medencéiben volt jellemző.

A *Microbacterium* nemzetség (amelynek szintén vannak opportunistá patogén képviselői) szintén jelen voltak, az *M. paraoxydans* baktériumot sikerült tenyésztésbe vonni a TB2 fürdő töltő-ürítő medencéjéből (PCU38_2) és a TB1 fürdő vízforgatásos medencéjéből (PCIRC38_1) (4. táblázat).

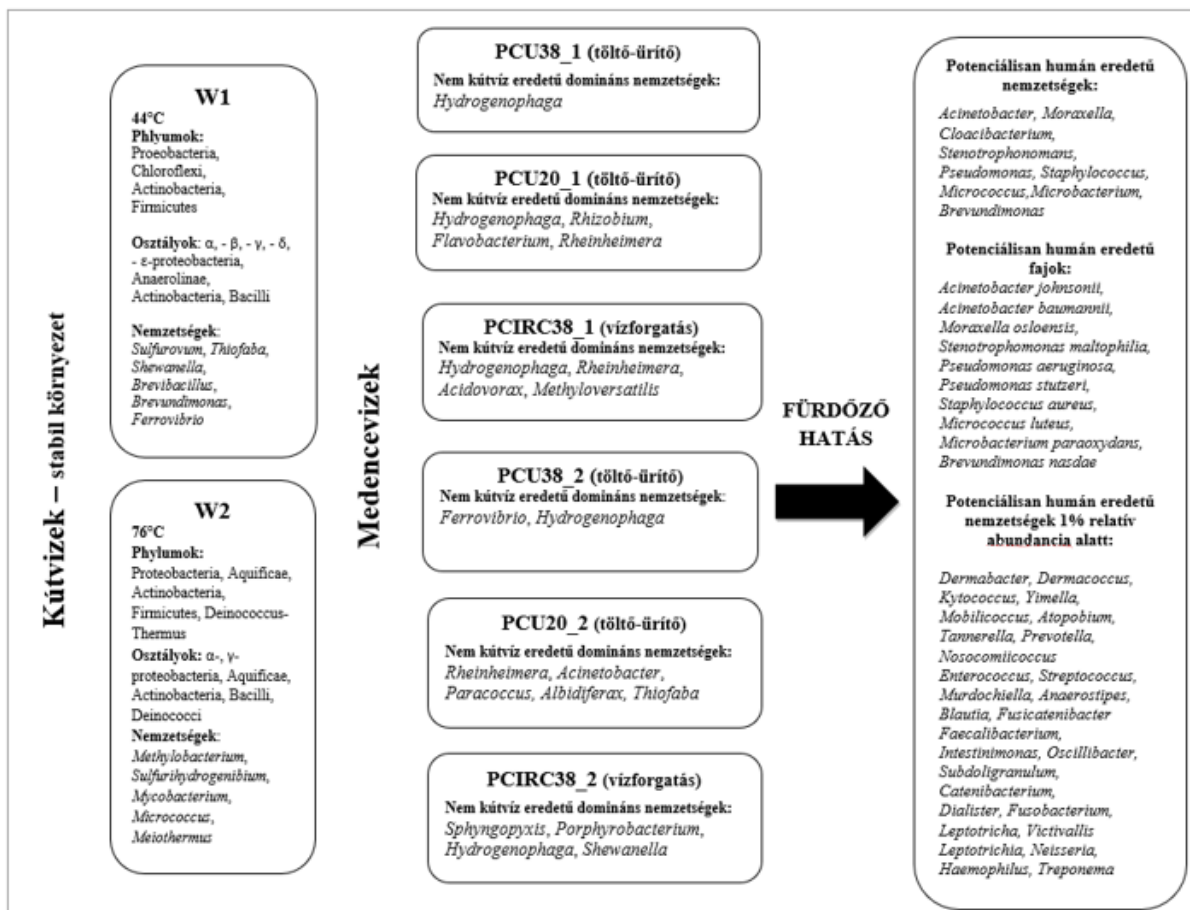
KÖVETKEZTETÉSEK

A fürdőzés napjainkban is népszerű tevékenység rekreációs, oktatási és rehabilitációs lehetőségei miatt (Neumann és társai 2001, Rapolineé és társai 2015). A közös fürdőzésnek azonban ismertek a mikrobiológiai kockázatai, ezért a fürdővizek mikrobiológiai vizsgálata a közegészségügyben központi szerepet játszik (Vargha és társai 2015). A medencevíz jól ismert közvetítő közeg különböző betegségek terjesztésében (bakteriális fertőzések, paraziták, illetve vírusok által okozott megbetegedések) (Rabi és társai 2007), habár fontos megjegyezni, hogy a vízzel közvetített betegségek száma világszinten alacsony (Dale és társai 2010). Magyarországon kevés információ áll rendelkezésünkre fürdővíz eredetű megbetegedésekkel kapcsolatban, a jelenlegi szabályozás a bakteriális szennyezettségre fektet hangsúlyt, holott ismertek egyéb kórokozók (pl. egysejtűek, vírusok), amelyek fürdővízzel terjedve közegészségügyi kockázatot jelentenek (Vargha és társai 2015).

Munkánk során két budapesti gyógyfürdő mikrobiológiai vizsgálatát végeztük el a kútvizektől a medencevizekig. Eredményeink alapján a kimutatott baktériumok főként a természetes mikroba közösség tagjai voltak, amelyek fontos szerepet töltenek be a vízi ökoszisztémákban. Ezek a mikroorganizmusok anyagcsere sajátosságaik révén befolyásolják a vízminőséget, továbbá ezen mikrobák ismerete segít megérteni a prokarióták és a környezet közötti kapcsolatot (Valeriani és társai 2018).

Mivel a kútvizek nincsenek kitéve külső hatásnak, stabil bakteriális közösség alakulhat ki bennük. Feltehetően a kútvizek szulfát tartalmának köszönhetően mutattunk ki a W1 kútvízben olyan baktériumokat, amelyek a kén körforgalmában fontos szerepet töltenek be (*Sulfurovum*, *Thiofabia*). A termálforrások a folyamatos szulfid ellátás révén a kén-oxidáló baktériumok jellemző élőhelyei, ezen baktériumok jelenléte pedig meghatározó, a karbonát egyensúlyban betöltött szerepük miatt (Valeriani és társai 2018). A *Sulfurovum* nemzetség a TB2 kútvízében szintén megtalálható volt, míg a kemolitoautotróf és termofil *Sulfurihydrogenibium* kizárólag a 76 °C-os W2 kútvízben volt jelen (3. ábra). A fertőtlenítést nem alkalmazó töltő-ürítő medencékben ennek a nemzetségnek magas relatív abundanciája volt megfigyelhető.

Tenyésztéssel és NGS módszerrel is számos olyan baktériumot mutattunk ki, amelyek vizes közegek jellemző tagjai, pl. *Mycobacterium*, *Flavobacterium*, *Acidovorax*, *Methyloversatilis*, *Rheinheimera*, *Hydrogenophaga*, *Rhizobium*, *Brevundimonas*, *Sphingomonas*, *Pseudomonas* (Sikorski és társai 2002, Busse és társai 2003, Kumar és társai 2014, Szuróczi és társai 2016) (3. ábra). A *Pseudomonas* nemzetséget például dél-afrikai termálforrásokból szintén kimutatták molekuláris módszerrel, más (a Proteobacteria phylumba tartozó) nemzetségek mellett (*Hydrogenophaga*, *Mycobacterium*) (Tekere és társai 2015). Az NGS vizsgálatok számos esetben az úgynevezett "unclassified" (nem osztályozható) taxonómiai szintet jelölték meg a nemzetségek esetében, amely felhívja a figyelmet arra, hogy a termálvizek a tudomány számára eddig ismeretlen baktériumokat is tartalmazhatnak, ennek igazolására természetesen további vizsgálatok szükségesek.



3. ábra. A bakteriális közösségek összetételében bekövetkezett változások a kútvezektől a medencevezekig, figyelembe véve a fürdőző hatást

Megjegyzés: A minták jelölése megegyezik az 1. táblázatban feltüntetett jelölésekkel

Figure 3. Changes in the bacterial community structures from the wells to the pools highlighting the bathing effect

Note: Notations are shown in Table 1.

A kútvezetékbe érve a baktériumok új környezetbe kerülnek, ahol számos tényezővel kell szembenéniük. Többek között a fürdőző hatás és a vízkezelés befolyásolja a baktériumok növekedését és megváltoztatja a bakteriális közösségeket. A tenyésztési módszerekkel kapcsolatban továbbá fontos megjegyezni, hogy a heterotróf mikrobák könnyen túlélhetnek a lassabban növekvő társaikkal.

Feltehetően a fertőtlenítőszer adagolás hiányában a mikroszkópos sejtszám és összes heterotróf telepszám magasabb volt a töltő-űrítő rendszerű medencék esetében, mint a vízforgatással üzemelő medencékben, amelyeket folyamatosan fertőtlenítenek. A kútvezetékhez képest azonban minden medence mikroszkópos sejtszáma és összes heterotróf telepszáma magasabb volt. A mikroszkópos sejtszámokat a töltő-űrítő medencékben a nyitás előtti mintavétel során is jelentősen magasabbnak találtuk a vízforgatásos medencékhez képest, amely arra enged következtetni, hogy a medencék faláról származó biofilm is hozzájárul az emelkedett értékekhez. Fontos azonban megjegyezni, hogy a fürdőzők száma, a medencék mérete, a víz-hőmérséklet és egyéb külső környezeti hatások is befolyásolják a medencék vízminőségét.

Munkánk során csupán néhány opportunistá patogén baktériumot mutattunk ki az általunk alkalmazott módszerekkel. Korábbi vizsgálati eredményeket tekintve a töltő-

űrítő medencék esetében változó, hogy mely paraméter okoz határérték túllépést, de számos esetben az *Escherichia coli* fekális indikátor szervezetnek köszönhető a medencék nem megfelelő higiéniés állapota (Vargha és társai 2015). Közegészségügyi szempontból a fekális szennyeződés ad leginkább okot aggodalomra, mivel velük számos mikroorganizmus kerülhet a vizekbe. Míg a *Micrococcus* és a *Staphylococcus* a medencék túlterheltségére utalnak, addig a *Pseudomonas* és *Legionella*, mint úgynevezett technológiai indikátorok a biofilm jelenlétére engednek következtetni (Vargha és társai 2015). A TB1 és TB2 fürdőben szabványos módszerekkel fekáli coliform és *Legionella* spp. szervezeteket nem mutattunk ki, a *Micrococcus*, *P. aeruginosa* és *S. aureus* szám a töltő-űrítő medencékben voltak magasabbak. A vízminőség (a PCU38_1; PCIRC38_1 és PCIRC38_2 medencék kivételével) a hazai szabályozás szerint megfelelő higiéniés állapotúnak bizonyult. Feltehetően a töltő-űrítő rendszernek, a PCU38_1 medence esetében pedig a medence túlterheltségének volt köszönhető a határértéket meghaladó *Micrococcus* szám. A magasabb *P. aeruginosa* a töltő-űrítő PCU38_1 és a vízforgatásos 38 °C-os medencékben pedig biofilmek jelenlétére utal. A mintavételek során biofilm mintákat nem gyűjtöttünk, mivel vizsgálatunk elsődleges célja a termálfürdők vizsgálata, a kútvezetek összehasonlítása a medencevezetekkel volt.

Számos tanulmány fókuszál medencevizek vizsgálatára, amelyek során a vizsgált medencevizekben a *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis* és a *Micrococcus* szám meghaladta a határértékeket szabványos módszereket alkalmazva (Papadopoulou és társai 2008, Agbagwa és társai 2012, Amala és társai 2016). Munkánk során ezeket a baktériumokat többnyire mi is kimutattuk a medencevizekben (*P. aeruginosa*, coliformok és *S. aureus*). A *Micrococcus* nemzetségeknek számos oportunistá patogén tagja ismert, pl. *M. luteus*, amelyet korábban oligotróf közegekből történő tenyésztéssel kimutattak és képes nozokomiális fertőzéseket okozni (Yang és társai 2001).

Kevés információ áll rendelkezésünkre termálfürdők molekuláris módszerekkel történő higiénés vizsgálatára vonatkozóan. Egy esettanulmány Eritrea termálforrásait vizsgálta, ahol a termálvizeket rekreációs céllal használják a fürdőzők. NGS segítségével főként a Proteobacteria és Firmicutes phylum, nemzetségeket tekintve pedig *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Legionella*, *Acinetobacter* és *Moraxella* fordultak elő (Maruyama és társai 2018). Munkánk során a *Moraxella* nemzetséget mi is kimutattuk NGS segítségével, azonban kizárólag a medencevizekből, így feltételezhetően emberi eredettel hozható összefüggésbe a medencevizekben történő megjelenése. Továbbá sikerült tenyésztésbe vonni a *M. osloensis* baktériumot, amely szintén képes fertőzést okozni, korábban klinikai mintákból izolálták a mikrobát (Maruyama és társai 2018, Shah és társai 2019). Vizsgálataink során több olyan baktériumot azonosítottunk, amely összefüggésbe hozható valamilyen megbetegedéssel. Az *Acinetobacter* nemzetséget, amelyről ismert, hogy számos oportunistá patogén képviselője van, munkánk során NGS-sel és tenyésztéssel is kimutattuk. Két képviselőjét sikerült tenyésztésbe vonni: az *A. johnsonii* baktériumot, amely a humán bőr mikrobióta természetes tagja, azonban immunszupresszált egyéneknél képes fertőzést okozni (Seifert és társai 1993) és az *A. baumannii* baktériumot, amely a légzőszervrendszer kolonizálja, továbbá bőrön, kiválasztó és gasztrointesztinális szervrendszerben is előfordul, nozokomiális fertőzésekért lehet felelős (Hakyemez és társai 2013). Ezeknek a baktériumoknak az előfordulási aránya alacsony volt az általunk vizsgált medencékben, tenyésztéssel a TB2 fürdő 20 °C-os töltő-ürítő medencéjéből mutattuk ki (PCU20_2). Megbetegedésekkel szintén összefüggésbe hozható a tenyésztéssel kimutatott *Microbacterium paroxydans*, amely képes nozokomiális fertőzést okozni immunszupresszált egyéneknél (Laffineur és társai 2003, Chorost és társai 2018).

A legtöbb azonosított oportunistá patogén a 2-es kockázati csoportba tartozik, előfordulásuk főként a töltő-ürítő rendszerű medencékre volt jellemző, míg 1-es kockázati csoportba tartozó baktériumot csekély mértékben mutattunk ki. A széles spektrumú β -laktamáz (ESBL) gének a töltő-ürítő medencékben szintén humán eredettel összefüggésbe hozható mikrobák jelenlétére utalnak, beleértve a patogén és fakultatív patogén mikrobákat is. Mindezek pedig arra engednek következtetni, hogy a töltő-ürítő medencék üzemeltetése és vízkezelése nem alkalmas a közegészségügyi szempontból problémát jelentő mikroorganizmusok eliminálására.

A hagyományos fertőtlenítőszeres klór-alapú szerek, azonban ismertek úgynevezett alternatív fertőtlenítési eljárások is pl. bromid, ózon, UV, hidrogén-peroxid alkalmazása. Ezek az eljárások általában magasabb költségekkel járnak és speciális üzemeltetéssel használhatók, sokszor önmagukban nem is elegendők, hanem egyéb kiegészítő eljárásként alkalmazhatók a vízminőség javítása érdekében (Kruithof és társai 2007, Holmgreen 2012). Magyarországon is rendelkezésre állnak alternatív fertőtlenítési eljárások, egységes szabályozás az alkalmazott fertőtlenítőszerrel kapcsolatban azonban jelenleg nem ismert, az üzemeltetők maguk választják ki a fertőtlenítőszeret és határozzák meg a fertőtlenítési eljárásokat. Mindenesetre a megfelelő vízkezelés kulcsfontosságú, mivel azáltal a fürdővíz közvetítette közegészségügyi kockázatok csökkenthetők (Vargha és társai 2015).

A megfelelő mikrobiológiai vízminőség fenntartásához a medencéket üzemeltetőknek követniük kell a szabályozásban és műszaki, módszertani leírásokban szereplő szabályokat, útmutatásokat, azonban fontos megjegyezni a fürdőzők felelősségét is, hogy a közfürdőkben a megfelelő tisztálkodási előírásokat kövessék. Ezek nemcsak a víz szemmel látható tisztaságához szükségesek, hanem a fertőzések elkerülése érdekében is.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során két termálfürdő mikrobiológiai vizsgálatát végeztük el tenyésztéssel és molekuláris módszerekkel az ökológiai megközelítéstől a higiénés aspektusokon át. Az eredmények azt mutatták, hogy a kútvizekben főként a természetes mikrobaközösség tagjait sikerült kimutatni, míg a medencevizekben a különböző külső hatásoknak és a fürdőzők hatásának köszönhetően egyéb, nem kútvíz eredetű mikroorganizmusok is megjelentek. A medencevizek vízkezelése, a medencék üzemeltetése hatással van a vízminőségre: higiénés szempontokat figyelembe véve a vízforratásos medencék bizonyultak hatékonyabbnak a töltő-ürítő rendszerű medencékhez képest.

Munkánk során elsőként sikerült feltárni a termálfürdők mikrobiális közösségét, figyelembe véve a fürdőzés és a vízkezelés hatását. A biofilmek vizsgálata minden bizonnyal hozzájárulna a teljesebb összképhez a mikrobiális diverzitás kapcsán, ezek a fajta vizsgálatok lehetnek a következő lépések munkánk folytatásához.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka nem jöhetett volna létre az ELTE Kiválósági Programja nélkül (ELTE Kiválósági Program a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával, NKFIH-1157-8/2019-DT).

Jelen közlemény magyar nyelvű másodközlés, az IWA Publishing hozzájárulásával készült. Az eredeti angol nyelvű közlemény elérhetősége: Anett Lippai, Rózsa Farkas, Sára Szuróczi, Attila Szabó, Tamás Felföldi, Marwene Toumi, Erika Tóth; Microbiological investigations of two thermal baths in Budapest, Hungary. Report: effect of bathing and pool operation type on water quality. J Water Health 1 December 2020; 18 (6): 1020-1032. doi: <https://doi.org/10.2166/wh.2020.027>.

IRODALOMJEGYZÉK

- Agbagwa, O.E., Young-Harry, W.M. (2012). Health implications of some public swimming pools located in Port Harcourt, Nigeria. *Pub. Health Res.*, 2(6). pp. 190-196. <https://doi.org/10.5923/j.phr.20120206.03>
- Amala, S.E., Aleru, C.P. (2016). Bacteriological quality of swimming pools water in Port Harcourt Metropolis. *Natural Science*, 8. pp. 79-84. <https://doi.org/10.4236/ns.2016.83010>
- Bej, A.K., Steffan, R.J., Dicesare, J., Haff, L., Atlas, R.M. (1990). Detection of coliform bacteria in water by polymerase chain reaction and gene probes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56(2). pp. 307-314. <https://doi.org/10.1128/aem.56.2.307-314.1990>
- Busse, H.J., Denner, E.B.M., Buczolits, S., Salkinoja-Salonen, M. (2003). *Sphingomonas aurantiaca* sp. nov., *Sphingomonas aerolata* sp. nov. and *Sphingomonas faeni* sp. nov., air- and dustborne and Antarctic, orange-pigmented, psychrotolerant bacteria, and emended description of the genus *Sphingomonas*. *Int J Syst Evol Microbiol.* 53 pp. 1253-1260. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.02461-0>
- Chorost, M.S., Simth, N.C., Hutter, J.N., Ong, A.C., Stam, J.A., McGann, P.T., Hinkle, M.K., Schaecher, K.E., Kamau, E. (2018). Bacteraemia due to *Microbacterium paraoxydans* in a patient with chronic kidney disease, refractory hypertension and sarcoidosis. *JMM Case Rep.*, 5(11). <https://doi.org/10.1099/jmmcr.0.005169>
- Cloud, J.L., Carroll, K.C., Pixton, P., Erali, M., Hilyard, D.R. (2000). Detection of *Legionella* species in respiratory specimens using PCR with sequencing confirmation. *J. Clin. Microbiol.*, 38 pp. 1709-1712. <https://doi.org/10.1128/jcm.38.5.1709-1712.2000>
- Dale, K., Kirk, M., Sinclair, M., Hall, R., Leder, K. (2010). Reported waterborne outbreaks of gastrointestinal disease in Australia are predominantly associated with recreational exposure. *Austr. N. Z. J. Public Health*, 34(5). pp. 527-530. <https://doi.org/10.1111/j.1753-6405.2010.00602.x>
- Deshmukh, R.A., Joshi, K., Bhand, S., Roy, U. (2016). Recent developments in detection and enumeration of waterborne bacteria: a retrospective minireview. *Microbiology Open*, 5(6). pp. 901-922. <https://doi.org/10.1002/mbo3.383>
- Filho da Silva, L.V.F., Tateno, A.F., Velloso, L.F., Levi, J.E., Fernandes, S., Bento, C.N.O., Rodriguez, J.C., Ramos, S.R.T.S. (2004). Identification of *Pseudomonas aeruginosa*, *Burkholderia cepacia* complex, and *Stenotrophomonas maltophilia* in respiratory samples from cystic fibrosis patients using multiplex PCR. *Pediatr. Pulm.*, 37 pp. 537-547. <https://doi.org/10.1002/ppul.20016>
- Fiume, L., Bucca Sabattini, M.A., Poda, G. (2005). Detection of *Legionella pneumophila* in water samples by species-specific real-time and nested PCR assays. *Lett. Appl. Microbiol.*, 41. pp. 470-475. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765x.2005.01779.x>
- Ghilamicael, A.M., Budambula, N.L.M., Anami, S.E., Mehari, T., Boga, H.I. (2017). Evaluation of prokaryotic diversity of five hot springs in Eritrea. *BMC Microbiology*, 17 203. <https://doi.org/10.1186/s12866-017-1113-4>
- Goldscheider N., Mádl-Szőnyi J., Erőss A., Schill E. (2010). Review: Thermal water resources in carbonate rock aquifers. *Hydrogeol. J.*, 18. pp. 1303-1318. <https://doi.org/10.1007/s10040-010-0611-3>
- Hakyemez, I.N., Kucukbayrak, A., Tas, T., Yikilgan, B., Akkaya, A., Yasayacak, A., Akdeniz, H. (2013). Nosocomial *Acinetobacter baumannii* infections and changing antibiotic resistance. *Pak. J. Med. Sci.*, 29(5). pp. 1245-1248.
- Holmgreen, J. (2012). Options for rainwater disinfection. *Water Quality Products*. <https://www.wqpmag.com/options-rainwater-disinfection>
- Kalwasinska, A., Felföldi, T., Walczak, M., Kosobucki, P. (2015). Physiology and molecular phylogeny of bacteria isolated from alkaline distillery lime. *Pol. J. Microbiol.*, 64(4). pp. 369-377. <https://doi.org/10.5604/17331331.1185236>
- Kim, M., Oh, H.S., Park, S.C., Chun, J. (2014). Towards a taxonomic coherence between average nucleotide identity and 16S rRNA gene sequence similarity for species demarcation of prokaryotes. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 64. pp. 346-351. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.059774-0>
- Kumar, M., Yadav, A.N., Tiwari, R., Prassana, R., Saxena, A.K. (2014). Evaluating the diversity of culturable thermotolerant bacteria from four hot springs of India. *Int. J. Biodivers. Biopros. Dev.*, 1(3). pp. 127-131. <https://doi.org/10.4172/2376-0214.1000127>
- Kruithof, J.C., Kamp, P.C., Martin, B.J. (2007). UV/H₂O₂ treatment: A practical solution for organic contaminant control and primary disinfection. *Ozone: Sci. Eng.*, 29. pp. 273-280. <https://doi.org/10.1080/01919510701459311>
- Laffineur, K.V., Avesani, G., Cornu, J., Charlier, J., Janssens, M., Wauters, G., Delmée, M. (2003) Bacteremia due to a novel *Microbacterium* species in a patient with leukemia and description of *Microbacterium paraoxydans* sp. nov. *J. Clin. Microbiol.*, 41(5) 2242-2246. <https://doi.org/10.1128/jcm.41.5.2242-2246.2003>
- Lane, D.J. (1991). 16S/23S rRNA sequencing. In: E. Stackebrandt and M. Goodfellow (eds.) *Nucleic Acid Techniques in Bacterial Systematics*. Wiley, New York, USA, pp. 115-175.
- Lavenir, R., Jocktane, D., Laurent, F., Nazaret, S., Cournoyer, B. (2007). Improved reliability of *Pseudomonas aeruginosa* PCR detection by the use of the species-specific ecfX gene target. *J. Microbiol. Meth.*, 70. pp. 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2007.03.008>
- Maruyama, Y., Shigemura, T., Aoyama, K., Nagano, N., Nakazawa, Y. (2018). Bacteremia due to *Moraxella osloensis*: a case report and literature review. *Braz. J. Infect. Dis.*, 22(1). pp. 60-62. <https://doi.org/10.1016/j.bjid.2017.10.008>
- Máthé I., Borsodi A.K., Tóth E.M., Felföldi T., Jurecska L., Krett G., Kelemen Z., Elekes E., Barkács K., Márialigeti K. (2014). Vertical physico-chemical gradients with distinct microbial communities in the hypersaline and heliothermal Lake Ursu (Sovata, Romania). *Extremophiles*, 18. pp. 501-514. <https://doi.org/10.1007/s00792-014-0633-1>
- MSZ 448-13:1983 Ivóvíz vizsgálat. Szulfátion meghatározása
- MSZ 448-15:1982 Ivóvíz vizsgálat. Kloridion meghatározása

MSZ 448-3:1985 Ivóvíz vizsgálat. Kalcium- és magnéziumion meghatározása

MSZ 13690-2:1989 Fürdővíz. Mintavétel és bakteriológiai vizsgálat

MSZ 13690-3:1989 Fürdővíz. Minősítés bakteriológiai vizsgálat alapján

MSZ 15234:2012 Fürdőmedencék kezelése vízforgatással

MSZ EN ISO 6222:2000 Víztisztaság. Tenyésztendő mikroorganizmusok számának meghatározása. Telepszám-meghatározás agar táptalaj beoltásával (ISO 6222:1999). Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

MSZ EN ISO 9963-2:1998 Víztisztaság. A lúgosság meghatározása. 2. rész: A karbonátlúgosság meghatározása (ISO 9963-2:1994) Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

MSZ EN ISO 10304-1:2009 Az oldott anionok meghatározása ionkromatográfiával. 1. rész: A bromid, a klorid, a fluorid, a nitrát, a nitrit, a foszfát és a szulfát meghatározása (ISO 10304-1:2007). Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

MSZ EN ISO 11731-2:2008 Víztisztaság. Legionella kimutatása és megszámlálása. 2. rész. Közvetlen membrán-szűrési módszer kis baktériumszámú vizek esetén (ISO 11731-2:2004). Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

MSZ EN ISO 11885:2009 Egyes kiválasztott elemek meghatározása induktív csatolású plazma ionforrású optikai emissziós spektrometriával (ICP-OES) (ISO 11885:2007). Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

MSZ EN ISO 19458:2007 Víztisztaság. Mintavétel mikrobiológiai vizsgálatokhoz. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

Muyzer, G., de Waal, E.C., Uitterlinden, A.G. (1993). Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59. pp. 695-700. <https://doi.org/10.1128/aem.59.3.695-700.1993>

Neumann, L., Sukenik, S., Bolotin, A., Abu-Shakra, M., Amir, M., Flusser, D., Buskila, D. (2001). The effect of balneotherapy at the Dead Sea on the quality of life of patients with fibromyalgia syndrome. *Clin. Rheumatol.*, 29. pp. 15-19. <https://doi.org/10.1007/s100670170097>

Papadopoulou, C., Economou, V., Sakkas, H., Gousia, P., Giannakopoulos, X., Dontorou, C., Filioussis, G., Gessouli, H., Karanis, P., Leveidiotou, S. (2008). Microbiological quality of indoor and outdoor swimming pools in Greece: Investigation of the antibiotic resistance of the bacterial isolates. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* 211. pp. 385-397. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.06.007>

Peters, M. (2016). Microbiology in swimming pools. UV-based treatment versus chlorination. <https://doi.org/10.4233/uuid:6461fab4-564a-4b91-851f-d27c96434991>

Rabi, A., Khader, Y., Alkafajei, A., Aqoulah, A.A. (2007). Sanitary conditions of public swimming pools in Amman, Jordan. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 4(4). pp. 301-306. <https://doi.org/10.3390/ijerph200704040006>

Rapolienė, L., Razbadauskas, A., Jurgelėnas, A. (2015). The reduction of distress using therapeutic

geothermal water procedures in a randomized controlled clinical trial. *Adv. Prev. Med.*

<https://doi.org/10.1155/2015/749417>

Seifert, H., Baginski, R., Schulze, A., Pulverer, G. (1993). The distribution of *Acinetobacter* species in clinical culture materials. *Int. J. Med. Microbiol.*, 279(4). pp. 544-552. [https://doi.org/10.1016/s0934-8840\(11\)80427-5](https://doi.org/10.1016/s0934-8840(11)80427-5)

Shah, S.S., Ruth, A., Coffin, S.E. (2019). Infection due to *Moraxella osloensis*: Case report and review of the literature. *Clin. Infect. Dis.*, 30(1) pp. 179-181. <https://doi.org/10.1086/313595>

Sikorski, J., Mohle, M., Wackernagel, W. (2002). Identification of complex composition, strong strain diversity and directional selection in local *Pseudomonas stutzeri* populations from marine sediment and soils. *Environ. Microbiol.*, 4(8). pp. 465-476. <https://doi.org/10.1046/j.1462-2920.2002.00325.x>

Szabó A., Korponai K., Kerepesi Cs., Somogyi B., Vörös L., Bartha D., Márialigeti K., Felföldi T. (2017). Soda pans of the Pannonian steppe harbor unique bacterial communities adapted to multiple extreme conditions. *Extremophiles*, 21. pp. 639-649. <https://doi.org/10.1007/s00792-017-0932-4>

Szuróczi S., Kéki Zs., Káli Sz., Lippai A., Tóth E. (2016). Microbiological investigations on the water of a thermal bath at Budapest. *Acta Microbiol. Immunol. Hung.*, 63(2). pp. 229-241. <https://doi.org/10.1556/030.63.2016.2.7>

Tekere, M., Lötter, A., Olivier, J., Venter S. (2015). Bacterial diversity in some South African hot water ponds: A metagenomic analysis. *Proceedings World Geohot Water Congress, Melbourne, Australia.* pp. 1-8.

Trung, N.T., Hien, T.T.T., Huyen, T.T.T., Quyen, D.T., Binh, M.T., Hoan, P.Q., Meyer, C.G., Velavan, T.P., Song, L.H. (2015). Simple multiplex PCR assays to detect common pathogens and associated genes encoding for acquired extended spectrum betalactamases (ESBL) or carbapenemases from surgical site specimens in Vietnam. *Ann. Clin. Microbiol. Antimicrob.*, 14. 23. <https://doi.org/10.1186/s12941-015-0079-z>

Tsai, H.C., Chou, M.Y., Shih, Y.J., Huang, T.Y., Yang, P.Y., Chiu, Y.C., Chen, J.S., Hsu, B.M. (2018). Distribution and genotyping of aquatic *Acinetobacter baumannii* strains isolated from the Puzi River and its tributaries near areas of livestock farming. *Water*, 10. 1374. <https://doi.org/10.3390/w10101374>

Valeriani, F., Crognale, S., Protano, C., Gianfranceschi, G., Orsini, M., Vitali, M., Spica, V.R. (2018). Metagenomic analysis of bacterial community in a travertine depositing hot spring. *New Microbiol.*, 41(2). pp. 126-135.

Vargha M., Róka E., Barna Zs., Kiss Cs. (2015). Magyarországi fürdők mikrobiológiai vízminősége. - Országos Közegészségügyi Központ Országos Környezetegészségügyi Igazgatóság Vízhigiéniés osztály. Magyar Fürdőszövetség Közgyűlés 2015. pp. 1-6.

Vartoukian, S.R., Palmer, R.M., Wade, W.G. (2010). Strategies for culture of 'unculturable' bacteria. *FEMS Microbiol. Lett.*, 309. pp. 1-7. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2010.02000.x>

Yang, S., Sugawara, S., Monodane, T., Nishijima, M., Adachi, Y., Akashi, S., Miyake, K., Hase, S., Takada, H.

(2001). *Micrococcus luteus* teichuronic acids activate human and murine monocytic cells in a CD14- and Toll-like receptor 4-dependent manner. *Infect. Immun.*, 69(4). pp. 2025-2030. <https://doi.org/10.1128/iai.69.4.2025-2030.2001>

Zmantar, T., Koudhi, B., Miladi, H., Bakhrouf, A. (2011). Detection of macrolide and disinfectant resistance genes in clinical *Staphylococcus aureus* and coagulase-

negative staphylococci. *BMC Res. Notes*, 4. 453. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-4-453>

37/1996 (X. 18.) NM rendelet a közfürdők létesítésének és üzemeltetésének közegészségügyi feltételeiről.

49/2015 (XI. 6.) EMMI rendelet a *Legionella* által okozott fertőzési kockázatot jelentő közegekre, illetve létesítményekre vonatkozó közegészségügyi előírásokról.

SZERZŐK



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



FARKAS RÓZSA 2019-től PhD hallgató az ELTE TTK Mikrobiológiai Tanszékén, témája: Geológiai és antropogén szennyező anyagok hatása vizes környezetek mikrobiális közösségeire. Emellett 2022-től egy gyógyszerkutatást támogató multinacionális cégnél (IQVIA) globális, késői fázisú klinikai kutatásokra specializált törzskönyvező.



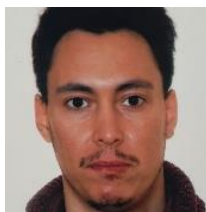
SZURÓCZKI SÁRA 2015-ben biológusként (MSc) végzett az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. Diplomamunkáját az ELTE Mikrobiológiai Tanszékén írta, melyben a Gellért-fürdő baktériumközösségeit vizsgálta tenyésztési módszerekkel. 2022-ben az Eötvös Loránd Tudományegyetemen doktori fokozatot (PhD) szerzett környezettudományokból. Doktori értekezésének témája a Fertő mikrobaközösségeinek összetétele a nádas borítottság függvényében volt.



SZABÓ ATILA okleveles biológus, MSc diplomáját az ELTE Mikrobiológiai Tanszékén szerezte 2012-ben. Phd fokozatot 2019-ben szerzett az ELTE Biológia Doktori Iskola Kísérletes Növénybiológia programjában. A Svéd Agrártudományi Egyetem és az ÖK Vízi Ökológiai Intézet munkatársa. Kutatási területe a vizes élőhelyek mikrobiális ökológiai vizsgálata, elsősorban genomikai, metagenomikai módszerek segítségével.



FELFÖLDI TAMÁS biológus, PhD fokozatát az Eötvös Loránd Tudományegyetem Mikrobiológiai Tanszékén szerezte meg. Az ELTE egyetemi docense, a Genomikai Laboratórium vezetője; az ELKH ÖK Vízi Ökológiai Intézetének tudományos főmunkatársa, a Mikrobiális Ökológiai Kutatócsoport vezetője. Jelenlegi kutatási területe természetes vizes élőhelyek mikrobiális ökológiáját és gerinctelenek molekuláris taxonómiáját öleli fel, amiket új fajok leírása egészít ki. 2009 óta tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.



MARWENE TOUMI biotechnológus, BSc diplomáját Bejában a Higher Institute of Biotechnology Intézetében. 2017-2022 között az ELTE Mikrobiológiai Tanszék PhD hallgatója. Vízi ökoszisztémák mikrobiális közösségének kutatásával foglalkozik, tenyésztési és tenyésztéstől független módszerekkel. Jelenleg a ThermoFisher Scientific munkavállalója.



TÓTH ERIKA okleveles biológus, MSc diplomáját az ELTE-n szerezte 1989-ben. Phd fokozatot 2001-ben szerzett az ELTE Biológia Doktori Iskola Genetika programjában, egy miázist okozó légyfaj kórokozásának mikrobiológiai hátterét vizsgálva. Azóta az ELTE mikrobiológiai Tanszékén dolgozik, jelenleg egyetemi tanár, 2017-2023 között tanszékvezető, 2018 óta az ELTE Környezettudományi Doktori Iskolájának biológiai programvezetője, az iskola törzstagja. Kutatásai során mikrobiális ökológiai, alkalmazott mikrobiológiai és prokarióta taxonómiai témákkal foglalkozik. 2022-től az MTA doktora. 2006 óta tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.

Sebesség alapú számítási módszer adaptálása hazai kisvízgyűjtőkön az összegyülekezési idő számítására

Nagy Eszter Dóra*

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék
(e-mail: nagy.eszter@emk.bme.hu)

DOI:10.59258/hk.13170



Kivonat

Az összegyülekezési idő számszerűsítésére szükség lehet különböző hidrológiai számítások esetén úgymint a racionális módszer alkalmazásakor, vagy csapadék-lefolyás modellezés esetén. Értékének közvetlen megfigyelésére nincs lehetőség, ezért kell különböző eljárások segítségével, közvetett módon számítani. Korábbi vizsgálataim során számos hazai vízgyűjtőre előállítottam esemény alapon, csapadék-lefolyás idősorokból az összegyülekezési idő értékeit, ami jó alapot szolgáltat a hidraulikai alapon számított értékek igazolására. Fontos lenne egy olyan, hidraulikai alapon nyugvó számítási módszertan felderítése, ami nem igényli a csapadék és vízhozam idősorok ismeretét, így a nem mért vízgyűjtőkre is alkalmazható. A közleményben egy olyan, már létező módszertant alkalmazok és mutatok be, ami az áramlási sebesség alapján közelíti az összegyülekezési idő értékét. Érzékenységvizsgálatot követően a korábban csapadék-lefolyás idősorokból számított értékekkel is összevetem a kapott eredményeket hat magyarországi kisvízgyűjtőre. A bemutatott módszer a kapott eredmények alapján nem alkalmas az összegyülekezési idő számítására, aminek lehetséges okai szintén tárgyalásra kerülnek.

Kulcsszavak

Összegyülekezési idő, áramlási sebesség, Manning, racionális módszer, vízgyűjtő, hidrológia.

Applicability of a velocity-based approach for time of concentration estimation in Hungarian catchments

Abstract

The estimation of time of concentration is required for several hydrologic calculations, such as the application of the rational method or rainfall-runoff modeling. Direct measurement of its value is not possible. Therefore, indirect estimation procedures need to be applied. In a previous research, I estimated time of concentration using observed rainfall and runoff time series for several Hungarian catchments. These values provide a sound basis for comparative studies. It would be of great value if a physically-based method, relying solely on hydraulic parameters, would be proven applicable for time of concentration estimation in ungauged basins. I applied an existing velocity-based approach for six Hungarian catchments and compared the result with the values derived in previous studies using rainfall-runoff data. The presented method could not produce similar values to the latter. Therefore, it is not applicable to estimate time of concentration in ungauged catchments. The reasons behind the presented method's dysfunctionality are also discussed.

Keywords

Time of concentration, velocity, Manning, rational method, catchment, hydrology.

BEVEZETÉS

Az összegyülekezési idő fogalma, illetve annak használata a racionális módszerrel egyidős, így története legalább 150 évre vezethető vissza (Beven 2020). Ennek ellenére napjainkban is élénk kutatási tevékenység övezi ezt a hidrológiai jellemzőt nemzetközi és hazai viszonylatban is (Grimaldi és társai 2012, Michailidi és társai 2018, Beven 2020, Nagy és társai 2021, Nagy és társai 2022). Meghatározásával és értelmezésével kapcsolatban alapvető, koncepcionális szintű problémák vetődnek fel a mai napig (Beven 2020). Az összegyülekezési idő meghatározása a vízgyűjtők csapadékra adott válaszában számszerűsítésekor fontos szerepet játszik. A racionális módszer mellett különböző csapadék-lefolyás modellek is alkalmazzák az egységárhullámkép módszeren (Kontur és társai 2003) keresztül. Értéke alapvetően befolyásolja az adott csapadék hatására kialakuló, modellezett árhullám alakját és tetőző vízhozamát is.

Az összegyülekezési idő csak az egyik a vízgyűjtők válaszüzenetét számszerűsítő paraméterek közül. A vízgyűjtők válaszüzenete kifejezhető továbbá az egyensúly beálltáig eltelt idővel, az árhullám késleltetési idővel, valamint a tetőzésig eltelt idővel is. Beven (2020) részletesen ismerteti,

hogy az összegyülekezési idő és az egyensúly beálltáig eltelt idő közötti számottevő különbség az, hogy előbbit az áramlási sebesség, míg utóbbit a hullámterjedési sebesség alapján számítjuk. Ebből adódóan az összegyülekezési idő jellemzően hosszabb, mint az egyensúly beálltáig eltelt idő. Ebben a közleményben azért tárgyalom kifejezetten az összegyülekezési idő számítását, mert az alkalmazott módszer kimondottan az áramlási sebességre alapoz, így az összegyülekezési időt adja eredményül.

Az összegyülekezési idő becsülésére számos megközelítés létezik, azonban nincs általánosan elfogadott módszertan. Értékének meghatározása történhet a) mérésen keresztül, b) fizikai alapon és c) félempirikus/empirikus módszerekkel (Nagy és Szilágyi 2021). Mérésnek tekintjük a laboratóriumban, kisminta modelleken, illetve a valódi vízgyűjtőkön, jelzőanyag felhasználásával végzett kísérleteket. Ezen módszerek hátránya, hogy költségesek, illetve a kisminta modelleken végzett kísérletek eredményei nehezen ültethetők át a valódi vízgyűjtőkre (Gaál és társai 2012). Ugyan közvetett módon, de mérésnek tekinthetjük a vízgyűjtőn rögzített csapadék, illetve a vízhozam idősorokból levezetett értékeket is. A fizikai (avagy hidraulikai)

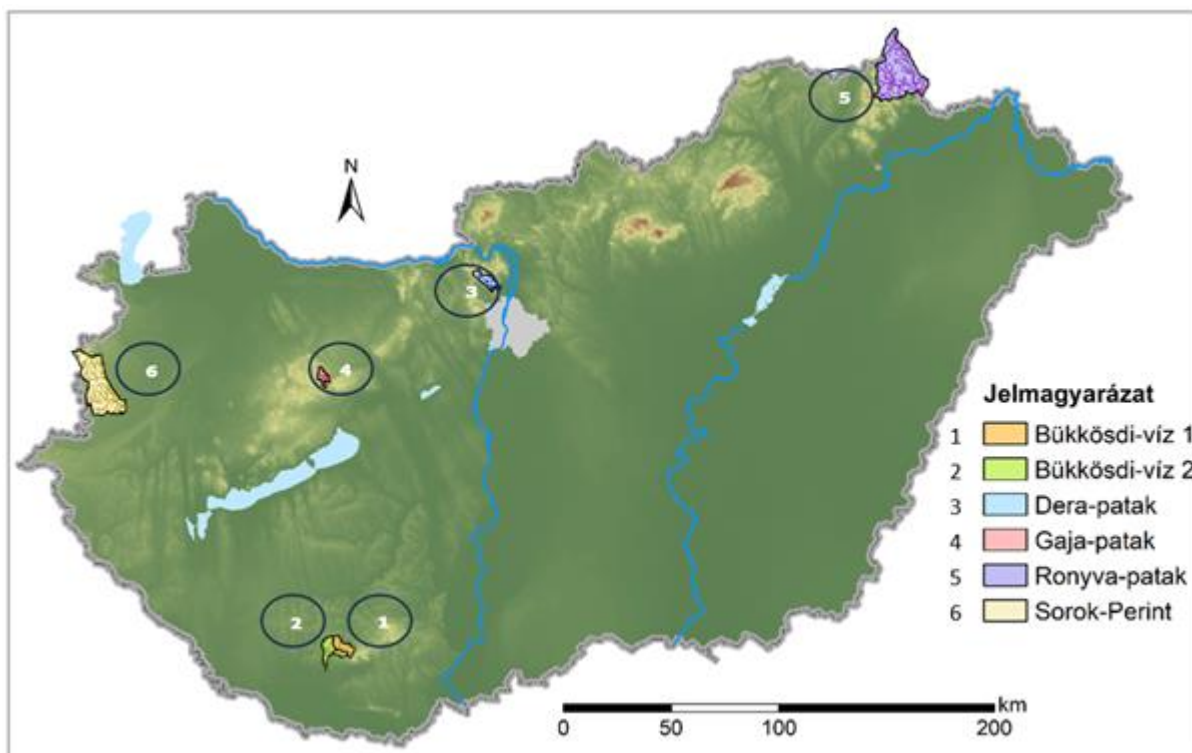
alapon történő számítás esetén fontos megkülönböztetni, hogy a felhasznált alapegyenletek az áramlási sebességet vagy a hullámterjedési sebességet veszik alapul. Számos empiria, illetve félempíria lelhető fel a szakirodalomban, és az ilyen összefüggések becslési pontosságát összehasonlító tanulmányok száma is jelentős (Almeida és társai 2014, Nagy és társai 2016, Salimi és társai 2017, Azasian 2018, Ravazzani és társai 2019). A félempirikus összefüggések leggyakrabban a Chézy összefüggés módosításából születnek, míg az empirikus összefüggéseket tisztán statisztikai alapon állítják elő. Korábbi kutatásaimban részletesen foglalkoztam az empirikus összefüggések, valamint a csapadék, illetve vízhozam idősorokból történő meghatározás vizsgálatával (Nagy 2022).

Jelen közleményben a fizikai alapú megközelítés egy alkalmazására hozok példát, megelőző munkám kiegészítéseként. A bemutatott vizsgálatok fő célja, hogy összehasonlítsa a fizikai alapon számított összegyülekezési idő értékét (a továbbiakban: sebesség alapú módszer) a csapadék-lefolyás idősorokból kapott értékekkel (a továbbiakban: idősor alapú módszer). Az idősor alapú módszerrel korábban már előállítottam számos hazai vízgyűjtő csapadék-lefolyás eseményeire az összegyülekezési idő megfigyelt értékét (Nagy és Szilágyi 2021). A sebesség alapú

módszer azonban újonnan került alkalmazásra. A Michailidi és társai (2018) által alkalmazott módszertant véve alapul az áramlási sebességre alapozva is számítottam a válaszidő értékét. Ennek a módszernek az előnye, hogy csupán morfológiai és hidraulikai jellemzők felhasználásával – mért csapadék és vízhozam nélkül is – számítani tudjuk az összegyülekezési idő értékét. Kérdés azonban, hogy az így kapott értékek egyeznek-e a mért vízgyűjtőkön, az idősor alapú módszerrel kapott, megfigyelt értékekkel? A sebesség alapú módszer érzékenységvizsgálatát követően összehasonlítottam a két eljárással kapott értékeket, amiből látható volt, hogy a két módszer jelentősen eltérő eredményre vezet. Ebből adódóan a módszer önmagában alkalmatlan a nem mért vízgyűjtők összegyülekezési idejének becslésére.

VIZSGÁLT VÍZGYŰJTŐK

A korábbi vizsgálatok során összesen 61 hazai kisvízgyűjtőt vizsgáltam. Ezek közül választottam ki hat olyan vízgyűjtőt, melyek változatos tulajdonságokkal rendelkeznek morfológiájukat (beleértve méretüket, alakjukat és esésüket), antropogénitásukat és földrajzi elhelyezkedésüket tekintve is. A választott vízgyűjtők méretét és földrajzi helyzetét az 1. ábra szemlélteti, míg néhány fontosabb tulajdonságukat az 1. táblázat tartalmazza.



1. ábra. A vizsgált vízgyűjtők földrajzi elhelyezkedése
Figure 1. Location of the study catchments

1. táblázat. A vizsgált vízgyűjtők jellemzői: terület, maximális szintkülönbség, leghosszabb lefolyási úthossz, domináns talajképző kőzet, és a területhasználat megoszlása

Table 1. Properties of the study catchments: catchment area, maximum difference in elevation, length of the longest flowpath, dominant soil parent material, land use ratios

Vízfolyás neve	Kifolyási szelvény helye	Vízgyűjtő terület	Maximális szintkülönbség	Leghosszabb lefolyási úthossz	Domináns talajképző kőzet	Területhasználat: település/erdős/mezőgazdasági
		km ²	m	km		%
Bükkösdi-víz	Hetvenhely	46,1	402	15,3	Lössös üledékek	1,28/55,6/43,12
Bükkösdi-víz	Szentlőrinc	112	444	28,8	Lössös üledékek	0,849/36,5/62,6
Dera-patak	Pomáz	49,7	638	20,4	Andezit, bazalt, riolit	11,2/57,9/30,9
Gaja-patak	Bakonyháza	28,5	214	10,4	Lössös üledékek	0,456/25,3/74,3
Ronyva-patak	Sátoraljaújhely	451	792	42,1	Galciális és alluviális üledékek	2,89/16,8/80,4
Sorok-Perint	Szombathely	354	170	50,1	Harmadkori és idősebb üledékek	2,82/3,30/93,9

A választott vízfolyások a Bükkösdi-víz két különböző szelvényben (Hetvenhely és Szentlőrinc), valamint a Dera-, Gaja-, Ronyva-patakok és a Sorok-Perint. Ezen vízfolyások (az 1. táblázatban feltüntetett kifolyási szelvényekhez tartozó) vízgyűjtő területei 28,5-451 km²-es mérettartományban mozognak. A maximális szintkülönbség a vízgyűjtőkön belül 170-638 m között változik, míg a leghosszabb lefolyási úthossz 10,4-50,1 km. A vizsgált vízfolyások vízgyűjtő területén különböző a domináns (azaz legnagyobb arányban jelenlévő) talajképző kőzet, illetve a különböző (erdős, mezőgazdasági és települési) területhasználatok aránya is változó. A választott vízgyűjtők változatlansága a kapott eredmények reprezentativitását hivatott növelni. A korábban vizsgált vízgyűjtők közül azért vizsgáltam csupán hat vízgyűjtőt, mert az új módszer alkalmazásához szükséges paraméterek felvétele időigényes, a módszert elsőként a vízgyűjtők egy részhez tartottam célszerűnek tesztelni.

MÓDSZERTAN

A sebesség alapú módszer a leghosszabb lefolyási úthossz mentén kialakult áramlási sebesség alapján becsli az összegyűlekezési idő értékét, tetszőleges lefolyásképző csapadék esetén. A módszernek megfelelően fel kell osztani a vizsgált vízgyűjtő leghosszabb lefolyási úthosszát a nagyobb mellékvízfolyások mentén. Az így kapott részvízgyűjtők, illetve vízfolyásszakaszok tulajdonságait felhasználva aztán számítható az összegyűlekezés ideje a racionális módszerre, a Manning összefüggésre és az úgynevezett NRCS (National Research Conservation Service) módszerre (NRCS 2010) alapozva.

Az NRCS módszer az Egyesült Államokban fejlesztett és szabványosan használt módszer, ami a magyar műszaki gyakorlatban is meghonosodott (*Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Minisztérium 1988*). Ezen eljárás szerint a vízgyűjtő legfelső szakaszán sekély, koncentrált áramlás formájában történik az összegyűlekezés, ami a következő egyenlettel írható le:

$$t_1 = \frac{L_1}{V_1} = \frac{L_1}{k\sqrt{S_1}} \quad (1)$$

ahol t_1 (s) a legfelső vízgyűjtő összegyűlekezési ideje, V_1 (m/s) a felszíni összegyűlekezéshez tartozó áramlási sebesség, L_1 (m) a lefolyás hossza, S_1 (m/m) az átlagos esés a lefolyási hossz mentén, és k (m/s) a vízgyűjtő érdessége. A lefolyási hossz a leghosszabb lefolyási útvonal azon szakasza, mely a vízgyűjtő mederhálózatának legfelső, azaz kezdőpontjait tart. Az átlagos esés ezen szakasz kezdő és végpontjai között a szintkülönbség és L_0 hossza alapján számítható. A vízgyűjtő érdessége a területhasználat alapján vehető fel.

A legfelső vízgyűjtőt követően már mederbeli lefolyás (avagy összegyűlekezés) feltételezhető, így a Manning összefüggésből számítható az áramlási sebesség, valamint az összegyűlekezés ideje az egyes mederszakaszokon. A Manning összefüggés alkalmazásához azonban szükség van az adott szakasz vízhozamára is, ennek számításához szükséges alkalmazni a racionális módszert. Fontos kiemelni, hogy – a hazai gyakorlatól eltérően – a racionális módszer eredeti formájában a vízgyűjtőt érő csapadémagasságot tekinti állandónak (*Grimaldi és társai 2012*), nem a csapadék intenzitást. Tehát $Q = C \cdot P/T_c \cdot A$, ahol Q (m³/s) a vízhozam, C (-) a lefolyási tényező, P (m) a teljes csapadék, T_c (hr) az összegyűlekezési idő és A (m²) a vízgyűjtő terület. A lefolyásképző csapadék [$P_e = C \cdot P$ (m)] nagyságát felvéve, tetszőleges csomópontra a következőképpen írhatjuk fel a vízhozam képletét a racionális módszer alapján:

$$Q_i = \frac{P_e \sum_{i=1}^N A_i}{\sum_{i=1}^N t_i} \quad (2)$$

ahol Q_i (m³/s) az i -edik csomópontba érkező vízhozam, N a csomópontok, illetve részvízgyűjtők száma, A_i (m²) az i -edik részvízgyűjtő területe, és t_i (s) a mederbeli lefolyás ideje az i -edik vízfolyásszakaszon. Utóbbi a Manning képletből számított sebesség alapján számítható:

$$t_i = \frac{L_i}{V_i} = \frac{n_i L_i}{R_i^{2/3} J_i^{1/2}} \quad (3)$$

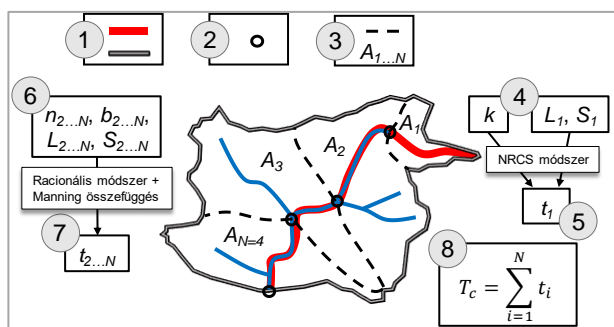
ahol L_i (m) az i -edik vízfolyásszakasz hossza, V_i (m/s) az i -edik vízfolyásszakaszon az áramlási sebesség, n_i (s/m^{1/3}) az i -edik szakaszon a meder érdessége, R_i (m) az i -edik vízfolyásszakasz hidraulikus sugara és J_i (m/m) az i -edik vízfolyásszakasz átlagos esése. A hidraulikus sugarat egyszerűsítve téglalap szelvényvel közelíthetjük. Ezzel a feltevéssel élve a hozam a következő összefüggéssel számítható:

$$Q_i = \frac{J_i^{1/3} b_i^{5/3} y_i^{5/3}}{(b_i + 2y_i)^{2/3}} \quad (4)$$

ahol b_i (m) a meder szélessége az i -edik szakaszon és y_i (m) az áramlási mélység az i -edik mederszakaszon. Utóbbi iteratív módon számolható a vízhozam és az ismert hidraulikai paraméterek felhasználásával, ezt követően már számítható a (3) összefüggés alapján az i -edik szakaszhoz tartozó mederbeli lefolyás ideje.

Egy vízgyűjtő terület összegyülekezési idejének meghatározásához a fent ismertetett számítási eljárás szerint a következő lépéseket szükséges végrehajtani:

1. Vízgyűjtő terület lehatárolása és a (geometriailag) leghosszabb lefolyási úthossz meghatározása.
2. A vízgyűjtő terület és a leghosszabb lefolyási úthossz felosztása a nagyobb mellékvízfolyások mentén.
3. Részvízgyűjtők területeinek meghatározása.
4. Legfelső vízgyűjtő érdességének felvétele a terület-használat alapján és a meder kezdetéig (első töréspontig) tartó lefolyási hossz és az esés meghatározása.
5. Összegyülekezési idő számítása az NRCS módszerrel a legfelső vízgyűjtőre.
6. A mederbeli lefolyás hidraulikai paramétereinek (hossz, esés, érdesség, mederszélesség) meghatározása.
7. Az összegyülekezési idő számítása minden vízfolyásszakaszra a racionális módszer és a Manning összefüggés alapján.
8. A teljes vízgyűjtő összegyülekezési idejének meghatározása a legfelső vízgyűjtőhöz és a mederszakaszokhoz tartozó időtartamok összegzésével, azaz $T_c = \sum_{i=1}^N t_i$.



2. ábra. A sebesség alapú módszer számítási lépéseinek sematikus ábrázolása

Figure 2. Scheme of the velocity-based method's calculation steps

A vizsgált vízgyűjtők területét és a leghosszabb lefolyási úthosszt az ArcGIS térinformatikai szoftver ArcHydroTools eszközrendszerével határoztam meg az

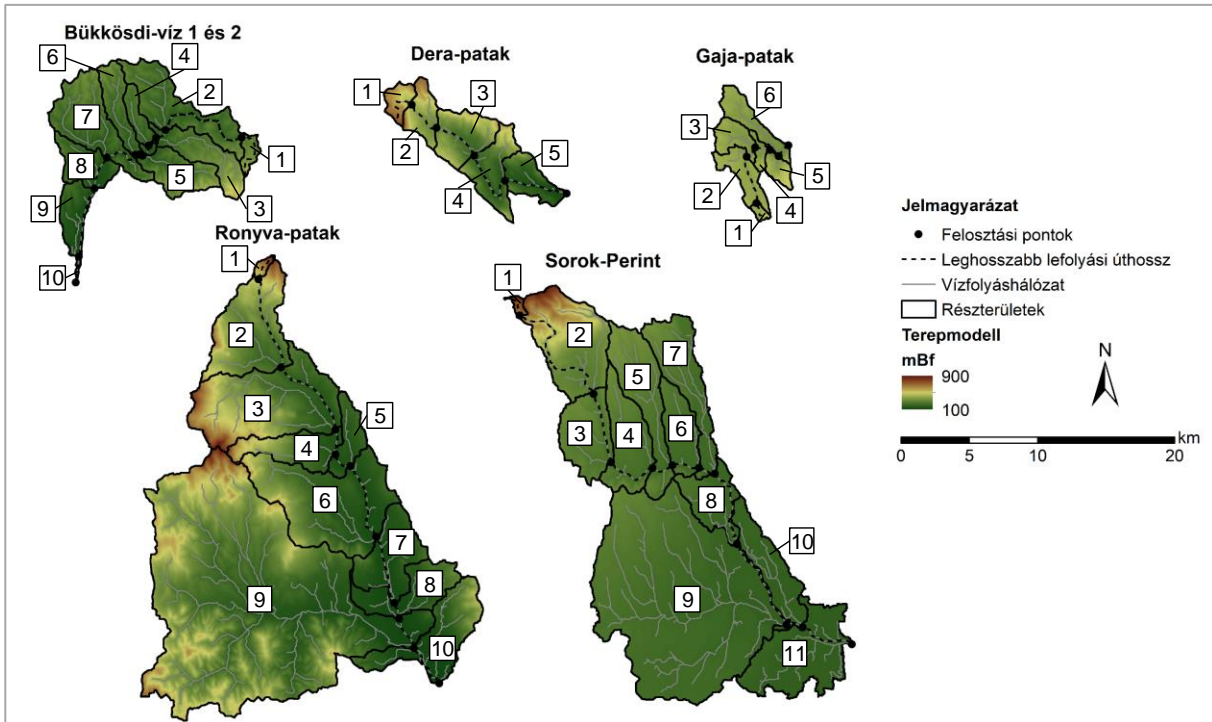
EU-DEM terepmodell alapján (*EU-DEM*). A leghosszabb lefolyási úthossz felosztása szubjektív módon történt, mert ehhez nem áll rendelkezésre objektív eljárás. A mederbeli lefolyás kezdőpontját digitalizált mederhálózati térkép alapján vettem fel. A legfelső vízgyűjtő terület érdességét a Corine területhasználati térkép (*Corine Land Cover*) és szakirodalmi ajánlások (*Haan és társai 1994, Michailidi és társai 2018*) felhasználásával tudtam meghatározni. A mederszakaszok hosszát és esését (utóbbit a szakaszok kezdő- és végpontja közötti szintkülönbség és a hossz alapján) a terepmodell alapján definiáltam. A mederszakaszok szélességét és érdességét műholdfelvételek, helyszíni szemle és tapasztalati adatok alapján határoztam meg. Így utóbbi két paraméter értéke tekinthető a legbizonytalanabbnak. Az összegyülekezési idő számítása végül MATLAB környezetben történt, egy erre a célra megírt algoritmus segítségével.

Mint a módszertan ismertetéséből is látható, számos paraméter meghatározását jelentős bizonytalanság terhelheti. Ennek hatását a számított összegyülekezési időre érzékenységvizsgálaton keresztül számszerűsítettem. A paramétereket három kategóriába soroltam. A vízgyűjtők területe, a lefolyási hosszak és az esés a megbízhatóan felvehető paraméterek közé, az érdességek (legfelső részvízgyűjtő és mederszakaszok) a bizonytalan paraméterek közé, míg a mederszélesség a nagyon bizonytalan paraméterek közé tartozott. Ezen kategóriákra rendre maximum abszolút 10%, 20%, illetve 50% becslési pontatlanságot tétéleztem fel, majd Monte-Carlo megközelítést alkalmazva nagy számban (egymillió kombinációt előállítva) véletlenszerűen hibával terheltem az összes paraméter értékét. A véletlenszerűen felvett hiba értéke egyenletes eloszlást követett. Minden ilyen hibával terhelt paraméterkombinációra számítottam az összegyülekezési idő értékét, így alkotva képet a módszer érzékenységéről.

A vizsgálatok legfontosabb pontja az, hogy a kapott eredmények összehasonlíthatók a korábban, idősor alapú módszerrel meghatározott értékekkel. Az összegyülekezési idő értéke ebben az esetben árhullámonként, egy-egy eseményre, a mért csapadék és vízhozam idősorok alapján került számításra. A figyelembe veendő időtartam a lefolyásképző csapadék és a felszíni lefolyás vége (avagy az árhullám apadó ágának inflexiós pontja) között eltelt időtartam. Ezen értékek előállításának pontos menete egy korábbi közleményben (*Nagy és Szilágyi 2021*) ismertetésre került. Az összehasonlítás végzéséhez az egyes eseményeknél számított átlagos lefolyásképző csapadékot felhasználva számítottam az új módszerrel az összegyülekezési idő értékét.

EREDMÉNYEK

A vízgyűjtő lehatárolás és felosztás eredményeként kapott részterületeket és szakaszokat a 3. ábra szemlélteti, a fent ismertetett módon meghatározott paramétereket pedig a 2. táblázat tartalmazza számszerűen. A legfelső vízgyűjtők érdessége a nagyon hasonló, mezőgazdasági-erdős vegyes területhasználat miatt minden esetben 1,7 m/s. Az érdességi együttható értékét 0,025 és 0,05 s/m^{1/3} között vettem fel, míg a mederszélesség egy métertől maximum négy méterig növekszik az alvíz felé haladva.



3. ábra. Vizsgált vízgyűjtők felosztása a nagyobb mellékvízfolyások mentén.
Figure 3. Sub-reaches and sub-catchments corresponding to the defined split points

2. táblázat. A Michailidi-féle módszertan alkalmazásához szükséges hidraulikai paraméterek
Table 2. Hydraulic parameters derived to apply Michailidi's method

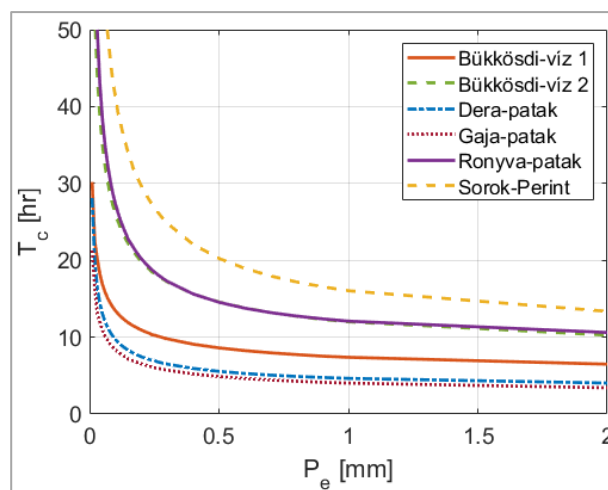
Rész-terület	A_i (km ²)	L_i (km)	J_i (m/m)	n_i (s/m ^{1/3})	b_i (m)
Bükkösi-víz 1					
1	5,05	1,01	0,1830	0,025	1
2	0,836	0,822	0,0840	0,03	2
3	23,4	1,06	0,0026	0,03	2
4	2,78	8,04	0,0006	0,04	2
5	13,9	4,32	0,0012	0,04	2
Bükkösi-víz 2					
1	2,78	1,99	0,0931	0,025	1
2	23,4	5,48	0,0126	0,03	2
3	13,9	2,64	0,0011	0,03	2
4	5,05	2,79	0,0018	0,04	2
5	13,8	0,352	0,0142	0,04	2
6	9,78	1,33	0,0006	0,04	2
7	23,4	0,822	0,0131	0,04	2
8	10,4	1,06	0,0104	0,05	3
9	8,91	8,04	0,0020	0,05	3
10	0,409	4,32	0,0005	0,05	4
Dera-patak					
1	4,46	5,23	0,0643	0,025	1
2	7,92	5,45	0,0163	0,03	2
3	14,0	3,91	0,0274	0,03	2
4	13,7	2,85	0,0166	0,04	2
5	9,65	2,93	0,0131	0,04	2
Ronyva-patak					
1	1,34	4,39	0,0829	0,025	1
2	33,4	2,65	0,1101	0,03	2
3	52,1	1,28	0,0343	0,03	2
4	15,3	5,53	0,0015	0,04	2
5	8,87	6,67	0,0005	0,04	2
6	53,0	1,64	0,0082	0,04	2
7	20,7	2,29	0,0035	0,04	2
8	17,5	7,27	0,0002	0,05	3
9	224	7,73	0,0004	0,05	3
10	25,3	2,61	0,0027	0,05	4
Sorok-Perint					
1	1,10	4,39	0,0522	0,025	1
2	34,5	1,52	0,2389	0,03	2
3	19,7	8,16	0,0033	0,03	2
4	21,3	6,82	0,0021	0,04	2
5	25,6	1,45	0,0036	0,04	2
6	14,0	2,19	0,0028	0,05	2
7	23,7	1,79	0,0018	0,04	2
8	14,8	4,18	0,0030	0,05	3
9	147	5,64	0,0023	0,05	3
10	18,6	11,6	0,0002	0,05	4
11	34,2	2,33	0,0020	0,05	4

Gaja-patak					
1	1,07	1,25	0,0775	0,025	1
2	7,84	0,916	0,0327	0,03	2
3	5,96	1,32	0,0234	0,03	2
4	2,06	1,14	0,0121	0,04	2
5	3,49	3,90	0,0035	0,04	2
6	8,08	1,90	0,0068	0,04	2

A sebesség alapú módszer alkalmazása révén előállítható a lefolyásképző csapadék és az összegyülekezési idő összefüggése minden vízgyűjtőre (4. ábra). A leghosszabb összegyülekezési idők a Sorok-Perint, míg a legrövidebbek a Gaja-patak esetén adódtak. A Bükkösi-víz szentlőrinci szelvényében és a Ronyva-patakon szinte azonos eredményeket adott a módszer. Látható, hogy a görbék meredeksége a lefolyásképző csapadék növekedésével drasztikusan csökken, a közel konstans összegyülekezési idő más-más lefolyásképző csapadék esetén alakul ki. Az is megfigyelhető, hogy nem a legnagyobb területű vízgyűjtő esetén adódik a leghosszabb összegyülekezési idő, ami a maximális szintkülönbség (ebből adódóan az esés) számotvető különbségével (lásd 1. táblázat) magyarázható.

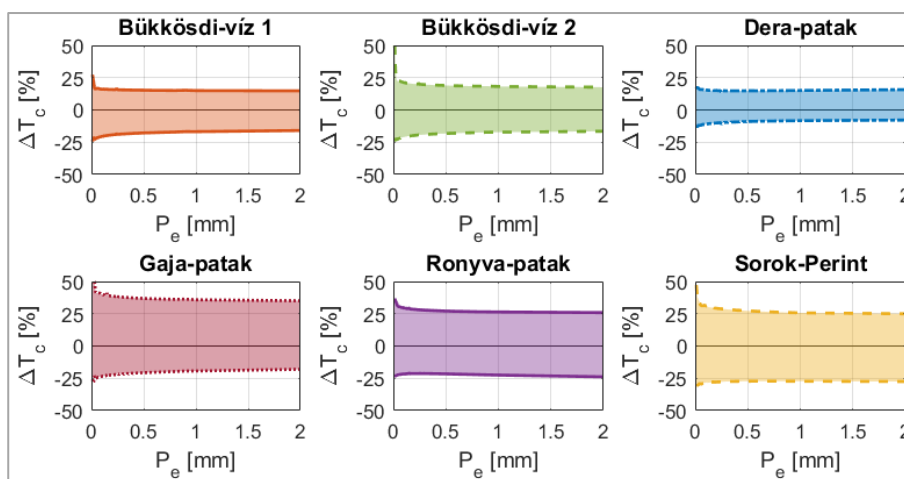
Az érzékenységvizsgálat eredményeként minden lefolyásképző csapadék és minden vízgyűjtő esetén előállt az összegyülekezési idők eloszlása a perturbált paramétereknek megfelelően. Az 5. ábrán ezen értékkészletek tizedik és kilencvenedik percentilise alapján meghatározott relatív változást [ΔT_c (%)] tüntettem fel minden vízgyűjtőre. A legkisebb hibasáv a Dera-patakon adódott, míg a legnagyobb a Gaja-patakon. A szimmetrikus perturbáció ellenére a relatív hiba sávja nem minden esetben szimmetrikus, a Dera- és Gaja-patakok esetében közel kétszer akkora

hiba alakulhat ki pozitív, mint negatív irányban. A hibasáv szélessége csak a nagyon kicsiny lefolyásképző csapadékok esetén ugrik meg drasztikusan, 0,1 mm felett közel konstansnak tekinthető.



4. ábra. Lefolyásképző csapadék (P_e) és a számított összegyülekezési idő (T_c) összefüggése

Figure 4. Relationship between the effective precipitation (P_e) and the calculated time of concentration (T_c)

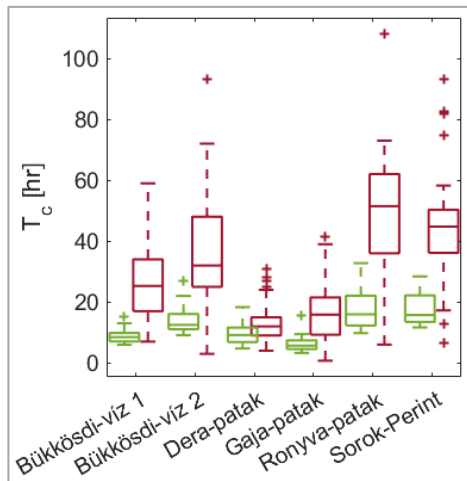


5. ábra. Az érzékenységvizsgálat eredményeként adódó relatív változás az összegyülekezési idő értékében, ahol a feltüntetett sávok alsó és felső határát a tizedik és kilencvenedik percentilisekhez tartozó értékek jelölik ki

Figure 5. The relative change in the value of time of concentration yielded by the sensitivity analysis, where the boundaries are given by the 10th and 90th percentiles

Az idősor alapú módszerrel kapott eredményeket és a sebesség alapú módszerrel kapott értékeket a 6. ábra szemlélteti. A sebesség alapú módszerrel kapott értékek mediánja egyedül a Dera-patak esetén ad jó közelítést az idősor alapú módszerrel kapott értékek medi-

ánjára. Az értékkészlet szórása minden vízgyűjtő esetén jelentősen nagyobb az idősor alapú módszert alkalmazva, mint a sebesség alapú eljárás esetén. Utóbbi módszer minden esetben rövidebb összegyülekezési időt ad eredményül.



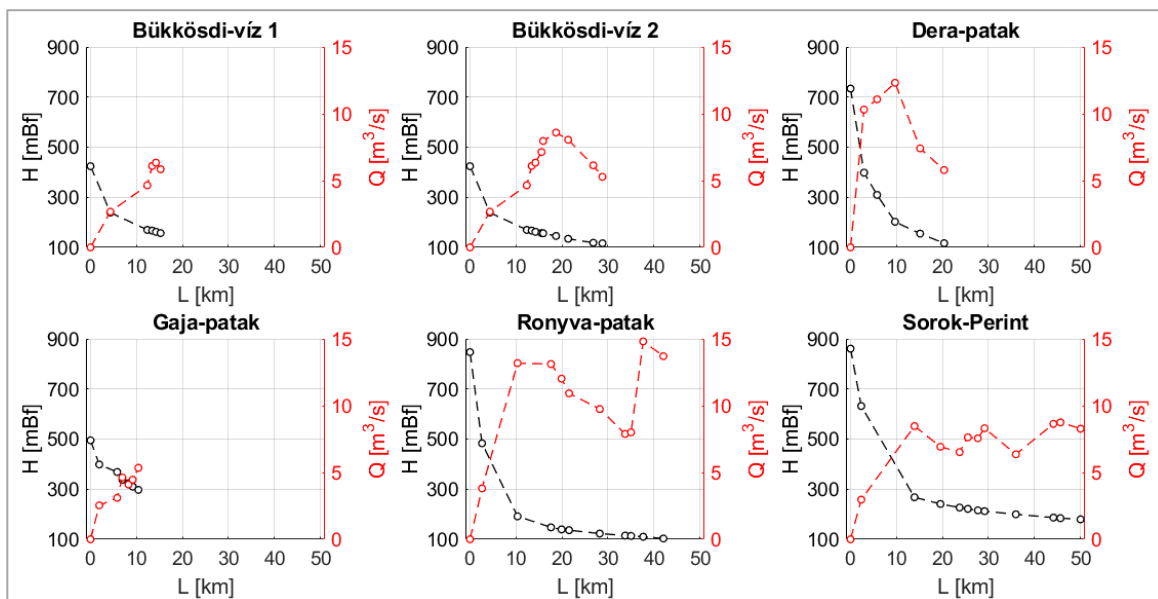
6. ábra. A sebesség alapú módszerrel (zöld, balra), valamint az idősor alapú módszer segítségével (bordó, jobbra) számolt összegyülekezési idők értékeinek dobozdiagramjai
Figure 6. Boxplots of the time of concentration values calculated based on flow velocity (green, left) and using observed precipitation and runoff time series (red, right)

DISZKUSSZIÓ

A sebesség alapú módszer alkalmazása kapcsán több probléma is felvetődött. Az első, gyakorlati jellegű észrevétel az, hogy az eljárás alkalmazása nagyszámú (több tucat)

vízgyűjtőn körülményes, ugyanis minden vízgyűjtőre elő kell állítani a lehatárolt vízgyűjtőt, majd a vízgyűjtő felosztását. Ezt követően pedig a legpontosabb eredmény elérése érdekében célszerű volna helyszíni bejárást követően meghatározni a mederszélességet és felvenni az érdességet. Emellett fontos megjegyezni, hogy az érdesség egy szeri meghatározása nem feltétlen elegendő, hiszen annak évszakos változása jelentős lehet.

Érdekes aspektusa továbbá a módszernek, hogy jellemből adódóan nem eredményez növekvő vízhozam értékeket a vízfolyás mentén. Ez annak tudható be, hogy az egyes szelvények (illetve vízfolyásszakaszok) hozamai a racionális módszer alapján, a (2) összefüggéssel kerülnek számításra. Egy milliméteres lefolyásképző csapadékot feltételezve a 7. ábrán látható vízhozam profilokat kapjuk az egyes vízgyűjtőkre. Minden vízfolyás esetén tapasztalható vízhozamcsökkenés a vízgyűjtő terület növekedésével. A vízhozam csökkenése alvízi irányba haladva önmagában nem elfogadhatatlan jelenség, azonban például a Ronyva-patakra adódó profil meglehetősen szokatlan és hidrológiai értelemben nem indokolt, kifejezetten annak tükrében, hogy az alkalmazott eljárás semmilyen vízkivétel vagy felszín alatti folyamatot nem vesz figyelembe. Ennek fényében kérdéses, hogy az összegyülekezési időt vajon mennyire reálisan adja vissza a módszer.



7. ábra. A meder, illetve a módszer során számított vízhozamok hossz-szelvényei $i_e = 1 \text{ mm}$ esetén
Figure 7. Longitudinal elevation and discharge profiles when effective precipitation is 1 mm

Hidraulikai szempontból két aspektus emelhető ki. Az első, hogy a Manning összefüggés alkalmazásakor prizmatikus medret feltételezünk, azonban a leghosszabb lefolyási úthossz felosztásakor kapott szakaszokon nem feltétlenül állandó a medergeometria. A másik probléma magával a leghosszabb lefolyási úthosszal kapcsolatos. A terepmodell alapján a geometriai értelemben vett leghosszabb utat tudjuk meghatározni, azonban ez nem feltétlenül egyezik a hidraulikai értelemben leghosszabb úthosszal. Utóbbi csak úgy található meg ha különböző (hidraulikai szempontból hosszabbnak feltételezett) útvonalak mentén is alkalmazzuk az eljárást, ami időigényes feladat.

A kapott lefolyásképző csapadék-összegyülekezési idő görbék jól szemléltetik a különböző paraméterek fontosságát, hiszen nem a legnagyobb területű vízgyűjtőre adódtak a leghosszabb összegyülekezési idők. Az esés jelentősen befolyásolja az áramlási sebességet, így az összegyülekezési idejét is. Ezzel magyarázható, hogy a lényegesen nagyobb területű és esésű Ronyva-patak görbéje szinte egybeesik a nála sokkal kisebb, de lankásabb Bükkösd-víz görbéjével.

Az érzékenységvizsgálat alapján kijelenthető, hogy a hidraulikai paraméterek meghatározásakor nem véthetünk

olyan nagyságrendű hibát, ami nagyobb lenne, mint a csapadék-lefolyás események vizsgálatok kapott értékek szórása. A becslési hibák halmozásával sem haladta meg jelentősen a relatív hiba abszolút értéke a 25%-ot. Jelen vizsgálatok során nem tértem ki a vízgyűjtő felosztásából adódó bizonytalanságra, ami alapvetően akkor jelentős, ha túl kevés csomópontot veszünk fel (*Michailidi és társai 2018*). Az általam meghatározott csomópontok száma (a vízgyűjtők méretéhez viszonyítva) jól egyezett a *Michailidi és társai* (által felvett csomópontok számával).

Az idősor alapú módszerrel kapott értékekkel nem mutattak jó egyezést a sebesség alapú módszerrel kapott értékek. Előbbiek megbízhatósága már korábban bizonyításra került (*Nagy és társai 2022*), ezért a Michailidi-által javasolt sebesség alapú eljárást tartom alkalmatlannak az összegyülekezési idő becslésére. Emellett szól továbbá, hogy a módszertan részben a racionális módszerre alapoz, melynek egyik feltételezése, hogy a vízgyűjtőt időben és térben homogén, az összegyülekezési idővel azonos (vagy hosszabb) időtartamú csapadék éri. Ez a feltételezés egy bizonyos vízgyűjtő méretig megállja a helyét, azonban a vizsgáltak között 224 km²-es részvízgyűjtő terület is szerepel (lásd Ronyva-patak, 2. táblázat), amire már nem érvényes ez a feltételezés.

A módszertan továbbfejlesztéseként érdemes lenne vizsgálni, hogy jobb eredményt kapunk-e, amennyiben a vízhozamokat realisabban vesszük fel. Ez jelentheti a nagyobb vízgyűjtők további felbontását kisebb részvízgyűjtőkre, vagy akár a racionális módszer leváltását egy aktuális, empirikus módszerre (*Koris 2021*). A fejlesztés azonban nem garantálja az eredmények javulását, és a módszertan munkai igényességét is csak tovább növelné. A nem mért vízgyűjtők összegyülekezési idejének hidraulikai alapon történő becslésére tehát érdemes további módszereket vizsgálni a jövőben.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A közlemény a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-22-4-I-BME-39 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

IRODALOMJEGYZÉK

Almeida, I.K., Almeida, A.K., Anache, J.A.A., Steffen, J.L., Sobrinho, T.A. (2014). Estimation on time of concentration of overland flow in watersheds: a review. *Geociências (São Paulo)* 33(4). pp. 661-671.

Azizian, A. (2018). Uncertainty Analysis of Time of Concentration Equations based on First-Order-Analysis (FOA) Method. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(1). pp. 327-341. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2018.327.341>

Beven, K.J. (2020). A history of the concept of time of concentration. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24. pp. 2655-2670.

Corine Land Cover: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download>

EU-DEM: <https://land.copernicus.eu/imagery-%20in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1>

Gaál, L., Szolgay, J., Kohnová, S., Parajka, J., Merz, R., Viglione, A., Blöschl, G. (2012). Flood timescales: Understanding the interplay of climate and catchment processes through comparative hydrology. *Water Resources Research*, 48(4). <https://doi.org/10.1029/2011WR011509>

Grimaldi, S., Petroselli, A., Tauro, F., Porfiri, M. (2012). Time of concentration: a paradox in modern hydrology. *Hydrological Sciences Journal*, 57(2). pp. 217-228.

Grimaldi, S., Petroselli, A. (2015). Do we still need the Rational Formula? An alternative empirical procedure for peak discharge estimation in small and ungauged basins. *Hydrological Sciences Journal*, 60. pp. 67-77. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.880546>

Haan, C.T., Barfield, B.J., Hayes, J.C. (1994). Design hydrology and sedimentology for small catchments. London: Academic Press.

Kontur I., Koris K., Winter J. (2003). Hidrológiai Számítások. 3. kiadás, Linográf Kft., Gödöllő.

Koris K. (2021). Magyarország kisvízfolyásainak árvizei. Országos Vízügyi Főigazgatóság, Budapest.

Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Minisztérium (1988). Belterületi vízrendezés, csapadékvízvezető hálózat, MI-10-455/2-1988.

Michailidi, E.M., Antoniadis, S., Koukouvinos, A., Bacchi, B., Efstratiadis, A. (2018). Timing the time of concentration: shedding light on a paradox. *Hydrological Sciences Journal*, 63(5). pp. 721-740.

Nagy E.D., Torma P., Bene K. (2016). Comparing methods for computing the time of concentration in a medium-sized Hungarian catchment. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 24(4). pp. 8-14. <https://doi.org/10.1515/sjce-2016-0017>

Nagy E.D., Szilágyi J., Torma P. (2021). Assessment of dimension-reduction and grouping methods for catchment response time estimation in Hungary. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 38. <http://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100971>

Nagy E.D., Szilágyi J. (2021). Összegyülekezési idő meghatározása mért idősorok és empirikus módszerek segítségével. *Hidrológiai Közöny*, 101(1). pp. 19-32.

Nagy E.D., Szilágyi J., Torma P. (2022). Estimation of catchment response time using a new automated event-based approach. *Journal of Hydrology*, 128355. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128355>

Nagy E.D. (2022). Response time estimation in small and medium-sized catchments of Hungary, Budapest, PhD értekezés.

NRCS (National Research Conservation Service) (2010). Time of concentration. In: National engineering handbook, Part 630 hydrology, chapter 15. Washington, DC: US Department

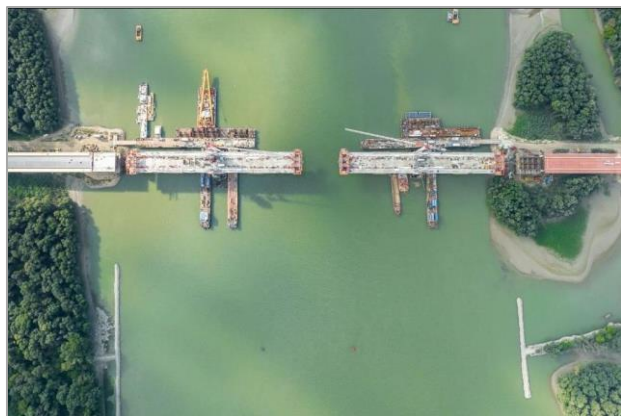
Ravazzani, G., Boscarello, L., Cislighi, A., Mancini, M. (2019). Review of Time-of-Concentration Equations and a New Proposal in Italy. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(10). pp. 1-11.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001818](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001818)

Salimi, E.T., Nohegar, A., Malekian, A., Hoseini, M., Holisaz, A. (2017). Estimating time of concentration in large watersheds. *Paddy Water Environ* 15(1). pp. 123-132.
<https://doi.org/10.1007/s10333-016-0534-2>

A SZERZŐ



NAGY ESZTER DÓRA okleveles infrastruktúra-építőmérnök (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2017), 2023-ban szerzett PhD fokozatot a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen a földtudományok területén, építőmérnöki tudományágból. 2022 óta főállású oktató, jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékén adjunktus. Túlnyomórészt hidrológiával, vízkészlet-gazdálkodással kapcsolatos tárgyakat oktat, fő kutatási területe a kisvízgyűjtők hidrológiája és a csapadék-lefolyás modellezés. 2016 óta a Magyar Hidrológiai Társaság tagja



Már összeért a Kalocsánál épülő új Duna-híd a folyó felett. Hatalmas változást hoz a közlekedésben a Kalocsánál vilámtempóban épülő új Duna-híd, amely szám szerint a huszadik dunai átkelő lesz. A Paks és Kalocsa között épülő híd hetven kilométeres kerülőutat rövidít le, mely várhatóan 2024 nyarára készülhet el a Duna Aszfalt Zrt. kivitelezésében. Az építkezés még 2021 februárjában indult és klasszikus óriásprojektről van szó: a híd 946 méter hosszú és hozzá kapcsolódóan jelentős úthálózatot is kiépítenek. (www.travelo.hu)

Egy termodinamikai alapú, rugalmas, minimális adatigényű területi párolgásbecslő módszer bemutatása a hazai vízgazdálkodás számára

Szilágyi József

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: szilagyi.jozsef@emk.bme.hu)

DOI:10.59258/hk.13171



Kivonat

A szerző a területi párolgás komplementáris összefüggésén alapuló becslési módszerek szakértője. Az itt, magyar nyelven először ismertetett termodinamikai alapú, rugalmas, minimális adatigényű (lég hőmérséklet, légnedvesség, szélesebbesség, sugárzási egyenleg) becslési eljárás huszonkét év kutatási munkájának eredménye. A módszer előnye, hogy mindössze két, könnyen kalibrálható paramétert tartalmaz (és ebben a formában bonyolult és jelentős adatigényű párolgásbecslő módszereket is maga mögé utasít pontosságban), de használható kalibrációmentes verzióban is. Az egyetlen hasonló kalibrációmentes területi párolgásbecslő módszert (a Morton-féle WREVAP programot) szinte minden teljesítménymutatóban fölényesen előzi. A módszer megbízható és rugalmas becslési opciót kínál a klímaváltozást is figyelembe veendő vízgyűjtő szintű vízgazdálkodás megtámogatásához.

Kulcsszavak

Területi párolgás, vízgyűjtő szintű vízgazdálkodás, klímaváltozás.

A thermodynamics-based versatile evapotranspiration estimation method of minimum data requirement for water resources investigations in Hungary

Abstract

The author is an expert of the complementary relationship of evaporation. The thermodynamics-based versatile evapotranspiration estimation method of minimum data requirement (air temperature, humidity, wind speed, net radiation), presented in Hungarian for the first time is the pinnacle of twenty-two years of his research. The advantage of the method is that it contains only two easy-to-calibrate parameters (while outperforming complex methods of large data requirement) but can be employed in a calibration-free mode as well. This latter version again substantially outperforms the only other available such method (i.e., Morton's WREVAP code) in almost every performance measure possible. All in all, it is a reliable and versatile evapotranspiration estimation approach that naturally lends itself for supporting catchment-level water management/allocation plans.

Keywords

Evapotranspiration, catchment-level water management, climate change.

BEVEZETÉS

Hatékony vízgyűjtő-gazdálkodás nem valósulhat meg pontos vízmérleg készítése nélkül. Ideális esetben a vízgyűjtő többéves vízmérlege a csapadék (P), lefolyás (Q), párolgás (E) és a vízgyűjtőn tárolt vízmennyiség megváltozásából (ΔS) áll:

$$P - Q - E = \Delta S \quad (1)$$

Az oly sokszor emlegetett klímaváltozás tükrében a múlt nem határozza meg a jövőt, azaz a múlta számított sokéves mérlegek pontatlanok lehetnek a jövőre vonatkozólag a változó klíma miatt. A múlta a vízgyűjtő párolgása – ami magában foglalja a növényzet párologtatását a csapadék felszín (legyen az talaj, mesterséges burkolat vagy szabad vízfelszín stb.) párolgásával egyetemben – a csapadék (P) és lefolyás (Q) egyszerű különbszeteként megkapható, amennyiben ΔS elhanyagolható. A jövőre nézve ez nem tehető meg, hiszen Q nem ismert, mivel az a csapadék és párolgás együttes függvénye. Tehát a változó jövőre csak a párolgás ismeretében készíthetünk vízmérlegeket. A lefolyás adja azt a megújuló vízmennyiséget amivel fenntarthatóan gazdálkodni lehet, anélkül, hogy a tárolt készleteket hosszú távon megcsapolnánk.

A területi párolgás becslése nem egyszerű kérdés, hiszen azt a talaj időben változó nedvességén kívül a növényzet aktív szerepe is befolyásolja a levélen elhelyezkedő gázcsere nyílások nyitása/zárása révén. Egy olyan területi párolgásbecslő eljárás, amely csak meteorológiai adatokra támaszkodik és nem igényel csapadék-információt, talajnedvesség állapotot, illetve növényjellemzőket, a vízgazdálkodási tervezés szempontjából mindenképp előnyben részesítendő.

Az itt bemutatott, a párolgás úgynevezett komplementáris összefüggésén (KÖ) alapuló becslési módszer a szerző több mint két évtizednyi, döntően angol nyelven közölt kutatómunkájának az eredménye. Jelen tanulmány célja, hogy a módszert tömören, gyakorlati alkalmazásokra készen mutassa be a hazai vízépítőmérnöki gyakorlat számára.

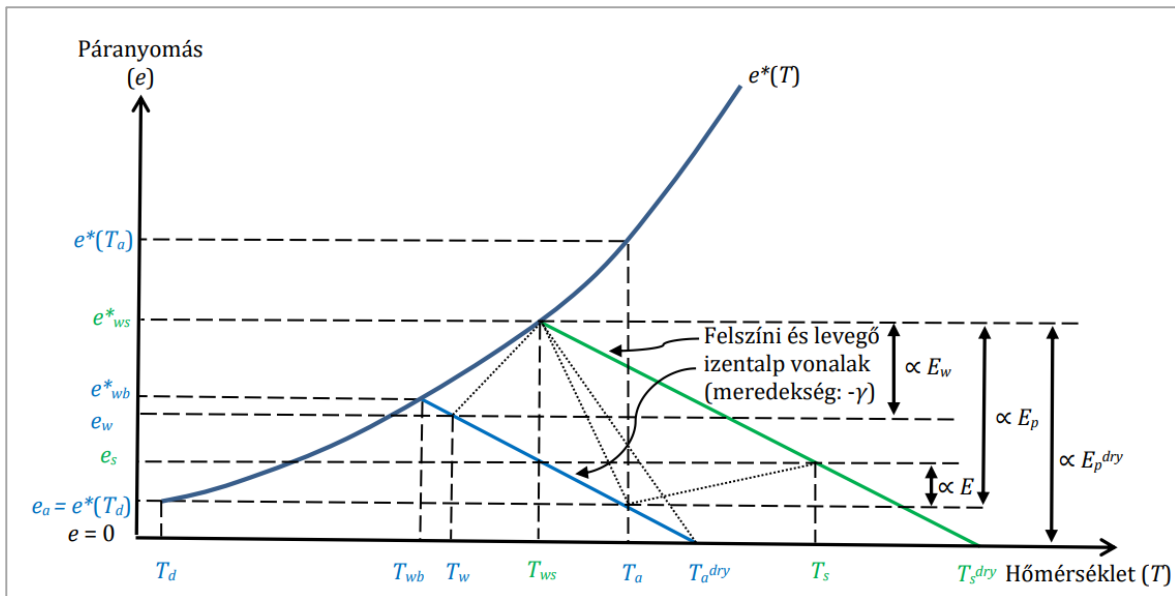
A TERÜLETI PÁROLGÁSBECSLŐ MÓDSZER RÖVID ISMERTETÉSE

A párolgás komplementáris összefüggését először *Bouchet* (1963) írta le. Megfigyelte, hogy egy növényzettel borított, regionális kiterjedésű (1 km² feletti) terület aktuális (napi, heti, havi, illetve évi átlagban) párolgása (E) és egy szántóföldnyi kiterjedésű nedves felszín (pl. egy bőségesen öntözött növényparcella, vagy egy vízzel bőven ellátott mo-

csaras terület) úgynevezett potenciális párolgása (E_p) között inverz (komplementáris) kapcsolat áll fenn: amikor E csökken, akkor E_p nő és fordítva, amikor E_p csökken, akkor E növekszik. Az összefüggés termodinamikai alapú számszaki megfogalmazására azonban több mint fél évszázadot kellett várni.

A terület nedvesedése/kiszáradása során a nedves felszín, illetve a közeli levegő (pl. két méteres magasságban) hőmérséklete, valamint nedvességtartalma között egy közel lineáris kapcsolat áll fenn ideális körülmények kö-

zött. Ez utóbbi egy adiabatikus folyamatot jelent izobárikus (konstans légköri nyomáson) feltétellel. Az adiabatikus kitétel azt jelenti, hogy a rendszer – ami itt a felszín és a közeli légoszlop – és környezete közötti nettó hőcsere nulla, azaz a felszínen rendelkezésre álló, egy adott időlépcsőben (egy nap vagy hosszabb) állandónak vett R_n energia szenzibilis (H) és látens hőáramok (E W/m²-ben kifejezve) összegeként távozik a légoszlop tetején. Az adiabatikus és egyben izobárikus változásokat a termodinamikában izentalpikus folyamatnak hívják. Az 1. ábra sematikusan mutatja a felszíni és levegő izentalpokat.



1. ábra. Telítési párányomás (e^*) görbe, valamint a KÖ-t megalapozó levegő (kék) és felszíni (zöld) izentalp vonalak (Monteith 1981, Qualls és Crago 2020, Crago és Qualls 2021, Szilágyi 2021)

Megjegyzés: A pontozott szakaszok függőleges és vízszintes vetületei arányosak (\propto) a különböző látens ($E \leq E_w \leq E_p \leq E_p^{dry}$) és szenzibilis (E_p és E_p^{dry} esetén negatív) hőáramokkal. A hőáram pozitív ha a felszíntől a levegő felé történik. γ az úgynevezett pszichrometrikus konstansot, míg T_d és T_{wb} a harmatpontot, illetve a nedves hőmérsékletet jelöli. A különböző hőmérséklet, párányomás és látens hőáram definíciókért lásd a felsorolt publikációkat, illetve az alábbi ismertetőt

Figure 1. Saturation vapor pressure (e^*) curve, air (blue) and surface (green) isenthalps yielding the complementary relationship (CR) (Monteith 1981, Qualls and Crago 2020, Crago and Qualls 2021, Szilágyi 2021)

Note: The vertical (denoted by the vertical two-way arrows) and horizontal projections of the dotted lines are proportional (\propto) to the different latent ($E \leq E_w \leq E_p \leq E_p^{dry}$) and sensible heat flux terms (the latter negative for E_p and E_p^{dry}), all positive when directed from the surface into the air. γ is the psychrometric constant, while T_d and T_{wb} are the dew-point and wet-bulb temperatures, respectively. See the above publications and below for additional definitions and explanation

A telítési párányomás (e^*) értéke (hPa) jól közelíthető a Tetens (1930) formulával:

$$e^*(T_a) = 6.108 e^{\frac{17.27T_a}{237.3+T_a}} \quad (2)$$

ahol T_a a levegő aktuális hőmérséklete a Celsius skálán mérve és a vastagon szedett „e” a természetes logaritmus alapját jelöli, megkülönböztetésképpen a párányomás (e) változójától. Az aktuális párányomás (e_a) számítható a (2) egyenlettel a harmatpont (T_d) ismeretében, azaz $e_a = e^*(T_d)$, vagy pl. a relatív nedvesség (RH) segítségével: $e_a = RH e^*(T_a)$.

A felszíni és levegő állapotjelzők – azaz a (T_s, e_s), illetve (T_a, e_a) értékpárok, ahol az „s” index mindig felszíni értéket jelöl – konstans (a hidrológiai gyakorlatban napi, heti, havi stb. átlagban értve) felszíni energia ($R_n > 0$) mellett csak a megfelelő izentalpok mentén mozdulhatnak el. Az izentalpok a ($T - e$) síkban jó közelítéssel $-\gamma$ meredekségű egyeneseket alkotnak, amennyiben eltekintünk a párolgási hő csekély mértékű hőmérséklet-függésétől. Egy

teljes kiszáradási folyamat során a felszíni értékek bejárják a felszíni izentalp teljes szakaszát, azaz a (T_{ws}, e^*_{ws}) – ($T_s^{dry}, 0$) szakaszt, míg ugyanezen idő alatt a levegő állapotjelzői a levegő (T_w, e_w) – ($T_a^{dry}, 0$) izentalp szakaszát. A változóban a „w” index a nedves környezetet jelöli, amit mondjuk egy országos többnapos, bőséges eső után figyelhetünk meg, míg a „dry” felső index a teljesen kiszáradt idealizált környezetet jelöli, amikor is mind a felszínen, mind a levegőben a párányomás nulla, hiszen nincs vízpára se a levegőben, se a felszínen. Vegyük észre, hogy a levegő izentalp leghidegebb (T_w) pontja természetes körülmények között (napi vagy hosszabb időbeni átlagolással) nem éri el a lehetséges minimum értékét (az úgynevezett nedves hőmérsékletet, T_{wb} , ami nem összekeverendő a nedves környezet léghőmérsékletével, T_w -el), amit úgynevezett szellőztetett pszichrométerrel mérnek ki a meteorológusok rutinszerűen. Ez azért van, mert általában még óceánok felett sem teljesen telített a levegő, hiszen a turbulens légáramlatok telítetlen (a nedvességtől felhők/csapadék formájában már részben megszabadított) levegőt

kevernek be a szabad (azaz a felszín által nem befolyásolt) troposzférából a nappal növekvő úgynevezett felszíni hátrétegbe, és ezáltal csökkentik annak párányomását, vagyis $e_w < e^*_{wb}$.

Mivel a környezet kiszáradása során adott idő alatt a felszínen és a levegőben bejárt izentalp-szakaszok hossza különbözik, feltételezhető, hogy az izentalpok nedves pontjától bármely időpillanatban mért aktuális szakasz-hosszak is megtartják ezt az arányt (legalábbis statisztikai értelemben), és így a következő geometriai hasonlóság írható (Szilágyi 2021) fel:

$$\frac{e_a}{e_w} = \frac{e_s}{e^*_{ws}} \quad (3)$$

amiből a

$$\frac{E}{E_w} = \frac{E_p^{dry} - E_p}{E_p^{dry} - E_w} \quad (4)$$

dimenziómentes összefüggés adódik (Crago és Qualls 2021, Szilágyi 2021). E_w a nedves környezetben megfigyelt aktuális párolgás, ami a mindenkori területi párolgás maximumát jelenti ($E \leq E_w$) adott R_n sugárzási egyenleg esetén. Hasonlóan, E_p^{dry} az E_p maximális értékét jelöli ($E_p \leq E_p^{dry}$) amit teljesen kiszáradt környezetben figyelhetnénk meg, azaz a folyamatosan öntözött parcella vagy egy jó vízellátású kisebb mocsaras/lápos terület ilyen ütemben párologtatna egy extrém szárazság alatt. E_w nemcsak a területi párolgás maximumát jelöli, hanem E_p minimumát is, mivel nedves környezetben a nedves parcella is csak maximum E_w szintjén tud párologtatni. Ezért a négy változó között a következő összefüggés sor áll fenn bármely pillanatban: $E \leq E_w \leq E_p \leq E_p^{dry}$. Nedves környezetben viszont $E = E_w = E_p \ll E_p^{dry}$ lesz érvényes.

Sajnos se a hidrológiai, se a mezőgazdasági, se a meteorológiai gyakorlatban még világszinten sem elterjedt felismerés, hogy a potenciális párolgás, E_p megadása (pl. a Penman vagy Penman-Monteith egyenlet segítségével) a vonatkozó terület méretének megnevezése nélkül (azaz szántóföldnyi vagy regionális kiterjedésről van-e szó; regionális, amennyiben a terület nagysága jóval egy négyzetkilométer felett van) aluldefiniált. Ez azzal jár, hogy a nedves környezet (pl. a Zala vízgyűjtője) párolgásának (E_w) számítása az E_p formájában tipikusan nem nedves (azaz száradó) környezetben mért meteorológiai változók segítségével szükségszerűen túlbecsléshez, és így pontatlan vízmérlegekhez vezet. De ugyanez vonatkozik pl. sekély nagytavainkra is: az E_p szimpla alkalmazásával túlbecsülhetjük nagytavaink – Fertő-tó, Balaton, Tisza-tó, kisebb mértékben a Velencei-tó is – valódi párolgását.

Az E_p és E_w közötti párolgáskülönbség abból adódik, hogy amíg a nedves terület kiterjedése viszonylag kicsi, addig annak párolgása nem befolyásolja érezhetően a felette áthaladó levegő állapotát. Azaz a közeli meteorológiai állomáson tipikusan száradó környezeti állapotban mért levegő hőmérséklete és nedvességtartalma mérvadó az E_p , de nem az E_w számítására, ugyanis a regionális kiterjedésű felszín párolgása már jelentősen visszahat a felette áthaladó levegő hőmérsékletére és nedvességtartalmára, csökkentve így E_w értékét E_p -hez képest. Tehát az a száradó környezetben mért

hőmérséklet (és nedvességtartalom) érték, amit az E_p számításához felhasználunk nem érvényes aktuálisan nedves környezetben, amire amúgy az E_p értékét vonatkoztatjuk, hiszen az E_p klasszikus definíciója szerint azt a területi párolgásszintet jelöli, amit az adott meteorológiai jellemzők mellett kapnánk, amennyiben a terület vízellátottsága regionális léptékben tökéletes volna. Csakhogy tökéletes vízellátottság mellett nem mérhetnénk az adott meteorológiai értékeket. Ezért a nedves környezet léghőmérsékletét először meg kell becsülni a tipikusan száradó környezeti értékek segítségével, és ez az a lépés, ami kimarad minden hidrológiai munkában egészen Szilágyi és Józsa (2008) tanulmányának megjelenéséig. Abban lehet bízni, hogy a potenciális párolgás definíciója lassan majdcsak magában foglalja a vonatkozó terület kiterjedését is (azaz szántóföldnyi kiterjedésű területre a Penman, E_p , míg regionális terjedelműre a Priestley-Taylor egyenlettel meghatározott, E_w érték a mérvadó, lásd alább).

A párolgás komplementáris összefüggése éppen az E_p és E_w különbségén alapszik, azaz abból, hogy mennyire tér el a két változó értéke, pontosan lehet következtetni az aktuális párolgás, E szintjére, ahogy azt a (4) egyenlet megfogalmazza, vagyis minél nagyobb az eltérés, annál kisebb E .

A (4) egyenletben E_p -t (mm/nap) célszerű a Penman (1948) egyenlet segítségével számolni:

$$E_p = \frac{\Delta(T_a)R_n}{\Delta(T_a)+\gamma} + \frac{\gamma f_u [e^*(T_a) - e_a]}{\Delta(T_a)+\gamma} \quad (5)$$

ahol $\Delta(T_a)$ a telítési párányomásgörbe meredeksége [= $4098e^*/(T_a + 237.3)^2$] T_a ($^{\circ}\text{C}$) hőmérsékleten. γ [= $c_p p / (0,622L)$] a pszichrometrikus konstans, ahol c_p (= 1005 J/kg K) a száraz levegő specifikus hőkapacitása állandó nyomáson ($p = 1000 \text{ hPa}$) és L a víz párolgási hője (= $2,5 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$). f_u [= $0,26(1 + 0,54 u_2)$] az úgynevezett Római-szélfüggvény mm/nap hPa mértékegységben (Brutsaert 1982), és u_2 (m/s) a 2 méteren mért szélsébség. Az R_n (5)-ben mm/nap-ban értendő, amit $R_n \text{ W/m}^2$ értékéből [$8,64 \cdot 10^7 / (L\rho_w)$]-val való szorzással kapunk, ahol ρ_w a víz sűrűsége ($\approx 1000 \text{ kg/m}^3$). Célszerű lehet az $u_2 / u_h = (2 / h)^{1/7}$ hatványkitevős formula (Brutsaert 1982) ismerete, hogy a h (m) magasságban mért szélsébség (u_h) értékét a kívánt 2 m-es értékke alakítsuk, hiszen a meteorológiai állomásokon $h > 2 \text{ m}$ (tipikusan 10 m). Az $e^*(T_a) - e_a$ különbséget (5) második (úgynevezett aerodinamikai) tagjában telítési hiánynak (v_d) nevezik (hPa).

Az E_p^{dry} értéke (4)-ben az (5) egyenlet segítségével számítható a $T_a = T_a^{dry}$ (= $T_a + e_a / \gamma$) és $e_a = e_a^{dry} = 0$ behelyettesítéssel. A nedves környezeti párolgást a Priestley-Taylor (1972) egyenlettel számíthatjuk:

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

ahol α (-) az úgynevezett Priestley-Taylor paraméter, az 1-1,32 intervallumból vett értékkel. α azt fejezi ki, hogy az (5) egyenlet aerodinamikai tagja a szabad troposzférikus levegő hátrétegbe történő bekeveredése révén tipikusan mennyivel növeli az első, úgynevezett radiációs tag párolgási értékét nedves környezet esetén. (6)-ban a nedves környezet léghőmérséklete, T_w a nedves felszín hőmérsékletével (T_{ws}) közelítendő a $T_w = \min(T_a, T_{ws})$ formula szerint

(Szilágyi és Józsa 2008, Szilágyi 2014), mivel nedves felszínnek felett a levegő függőleges hőmérsékleti gradiense csekély. Míg a becsült T_{ws} lehet nagyobb, mint az aktuális T_a telítettséghez közeli levegőben, T_w nem (ezért van T_w felülről lekorlátozva T_a értékével), hiszen a párolgás hőelvonással jár. T_{ws} a következő implicit egyenletből (Szilágyi és Józsa 2008) számítható iterációval:

$$\frac{R_n - E_p}{E_p} = \gamma \frac{T_{ws} - T_a}{e^*(T_{ws}) - e_a} \quad (7)$$

ahol figyelembe vettük, hogy a felszín közelében a potenciális hőmérséklet (ami igazából a szenzibilis hőáramot hajtja) jól közelíthető a léghőmérséklettel. A (7) egyenlet nem más, mint a Bowen-hányados ($= H / E$) szántóföldnyi kiterjedésű nedves felszínre felírva. A (7) egyenlet (6)-beli alkalmazhatóságához annak bizonyítása kellett, hogy a nedves felszín hőmérséklete nem változik annak térbeli kiterjedésével, azaz egy regionális nedves felszín hőmérséklete – amire (6) vonatkozik – ugyanaz, mint egy nedves szántóföldi parcelláé (Szilágyi és Schepers 2014).

Vegyük észre, hogy (4) jobb oldala egy ariditási (nedvességi) tényezőt, $w_i [= (E_p^{dry} - E_p) (E_p^{dry} - E_w)^{-1}]$ definiál: w_i értéke nulla, teljesen száraz környezetben ($E_p^{dry} = E_p$), illetve egységnyi, nedves környezetben ($E_p = E_w$). Ennek segítségével (4) az $E = w_i E_w$ alakban is írható, ami újból dimenziómentessé tehető E_p -vel való osztás után (Crago és társai 2016, Szilágyi és társai 2017), azaz:

$$y \equiv \frac{E}{E_p} = \frac{w_i E_w}{E_p} \equiv X \quad (8)$$

A (8) egyenlet alábbi alkalmazásának előnye (4) egyenlettel szemben annak megnövelt érzékenysége, mind nagyon száraz, mind nedves környezetben a Penman egyenlet aerodinamikai tagjában lévő exponenciális kifejezés miatt, ami gyorsan reagál már kis hőmérsékletváltozásra is.

Ahogy a terület egyre jobban kiszárad, már egy enyhe vízpáratranszport a környező nedvesebb területekről (nagy kiterjedésű tavak, mocsarak, a közeli tenger, vagy erdővel borított térség felől) azt okozhatja, hogy y értéke (8)-ban sokkal kevésbé változik meg, mint X -é, hiszen ahogy X tart nullához, E értéke változatlanul elenyésző maradhat annak ellenére, hogy E_p változik a beáramló nedvesség miatt. Másszóval i) $dy / dX \rightarrow 0$, ahogy $X \rightarrow 0$. A polinom, ami ezt a határfeltételt további hárommal (vagyis ii) $y = 0 \mid X = 0$; iii) $y = 1 \mid X = 1$; és iv) $dy / dX = 1 \mid X = 1$) együtt kielégíti (Szilágyi és társai 2017, Ma és Szilágyi 2019, Szilágyi 2021) az

$$y = 2X^2 - X^3 \quad (9)$$

alakban írható.

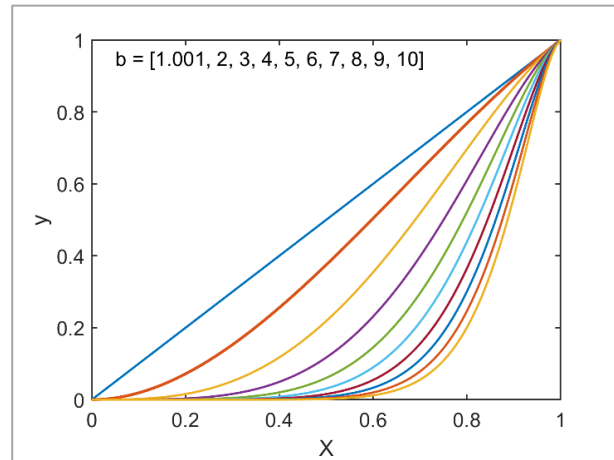
A négy határfeltétel azonban kielégíthető hatványfüggvények segítségével is (Szilágyi és társai 2022, Szilágyi és Crago 2023) a következő általános alakban:

$$y = aX^b - (a - 1)X^{(ab-1)/(a-1)} \quad a, b > 1 \quad (10)$$

A hatványfüggvény az $a = 2, b = 1$ választással visszaadja a (8) egyenletet – igaz, az i) határfeltétel megsértésével –, míg az $a = b = 2$ választással a (9)-et. Így célszerű az a értékét 2-ben fixálni különösebb negatív következmények nélkül (Szilágyi és társai 2022), azaz gyakorlati alkalmazásokhoz az

$$y = 2X^b - X^{2b-1} \quad b \geq 1 \quad (11)$$

egyszerűsített változat (2. ábra) ajánlott (Szilágyi és Crago 2023). A 2. ábrán a $b = 1.001$ értékkel kapott függvény szabad szemmel megkülönböztethetetlen a (8), lineáris megoldástól ($b = 1$).



2. ábra. A (11) egyenlettel meghatározott függvények növekvő $1 < b \leq 10$ értékekre. A (9) polinomot ($b = 2$) a vastagabb piros vonal jelöli

Figure 2. Graphical representation of Eq. (11) for $1 < b \leq 10$. The polynomial of Eq. (9) ($b = 2$) is the heavier red line

Minél nagyobb b értéke, annál jelentősebb a párimport a terület fölé és annál jobban távolodnak el a görbék a lineáris, (8) megoldástól, illetve X annál nagyobb szakaszán maradnak az y értékek nullához közel, hogy aztán minél meredekebben tartsanak az $y = 1$ érték közelében elhelyezkedő egyre rövidülő egységnyi meredekségű szakaszhoz. A 3. ábra jól illusztrálja a nagy kiterjedésű öntözött területekről (mint ami pl. az amerikai Nebraska államban található) a nem öntözött parcella felé irányuló vízpáratranszportot, ami a b paraméter magasabb kalibrált értékében tükröződik.

A (11) egyenlet két kalibrálandó paramétert tartalmaz, a -t E_w -ben és b -t. Andreas és társai (2013) az óceánok felett a -ra a következő összefüggést találták:

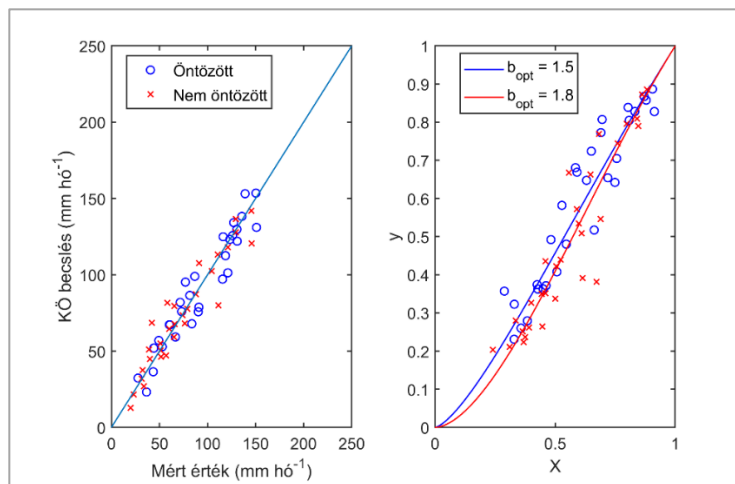
$$\alpha = \frac{\Delta(T_w) + \gamma}{\Delta(T_w) + c\gamma} \quad (12)$$

ahol c egy univerzális állandó. Szilágyi és társai (2014) globális reanalízis adatok segítségével α becsléséhez nedves felszínnek felett egy harmadfokú polinomot illesztettek a T_w értékekre. A két függvény a nyári hónapokra jellemző 15-25 °C fokos tartományban (amikor is a párolgás a legintenzívebb) szinte teljesen fedi egymást (Szilágyi és Crago 2023) a $c = 0,55$ érték választásával. A (12) egyenlet alkalmazása $c = 0,55$ -el (11)-ben már csak egy kalibrálandó paramétert hagy, b -t. 124 FLUXNET állomás adatainak felhasználásával b kalibrált értéke 2 körülire adódik (Szilágyi és Crago 2023), így a (11) egyenlet (9)-es változata (12) (amiben $c = 0,55$) segítségével egy teljesen kalibrációmentes párolgásbecslési eljárást tesz lehetővé, ami Morton (1983) KÖ-n alapuló úgynevezett WREVAP programja (Morton és társai 1985) kivételével egyedülálló a világon.

A PÁROLGÁSBECSLŐ MÓDSZER HATÉKONYSÁGÁNAK BEMUTATÁSA ÖRVÉNYKOVARIANCIA MÉRÉSEK SEGÍTSÉGÉVEL

A (11) egyenlettel megadott párolgásbecslő módszer 124 FLUXNET állomás (4. ábra) havi adataival (Pastorello és

társai 2020) lett tesztelve. Az adatfeldolgozás és előkészítés részleteit Szilágyi és Crago (2023) közleménye tartalmazza. A havi párolgások mért értékeit örvénykovariációs mérések adják. Szintén ezen állomások tartalmazzák a (11) egyenlet bemenő adatait is, ami havi R_n , T_a , v_d , u_h , h , és p (légnyomás) értékekből áll.

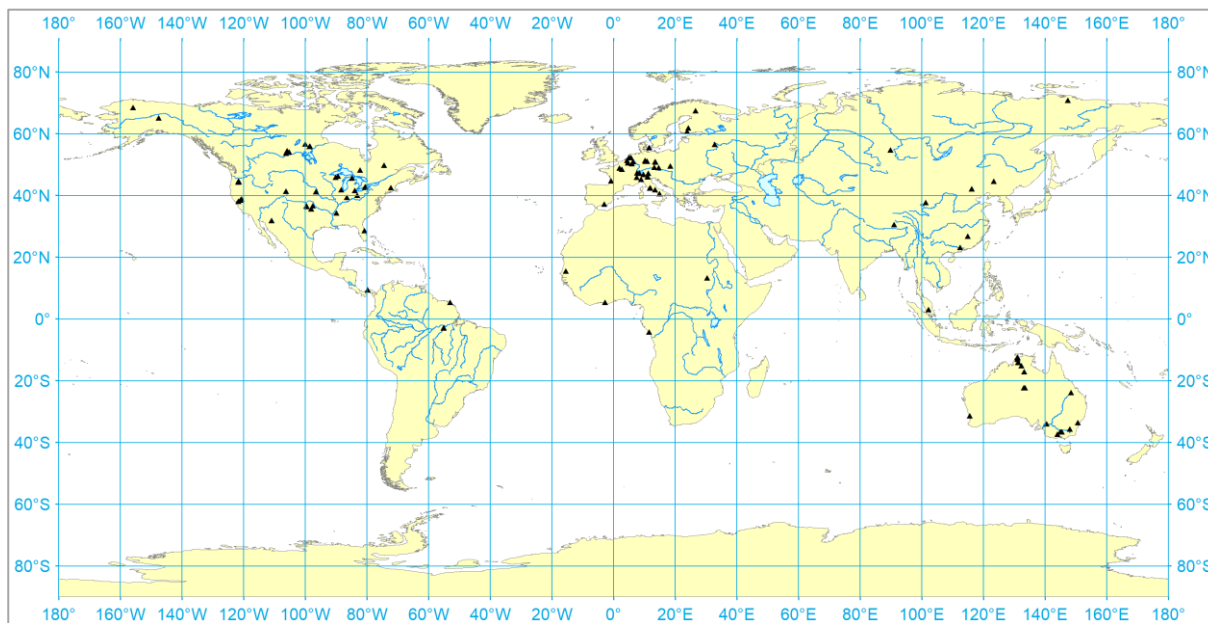


3. ábra. Örvénykovariancia módszerrel két FLUXNET állomáson mért (amikor $T_a > 10\text{ °C}$) és (11)-el becsült havi párolgásértékek egy öntözött és egy nem öntözött (kukorica egyik évben, szójabab a másikban, mindkét parcellán) mezőgazdasági táblán Mead, Nebraska (USA) közelében azon hónapokra, amikor a két tábla mért E értékének különbsége az átlagnál nagyobb

Megjegyzés: b_{opt} a két táblára külön kalibrált paraméter-értéket jelöli

Figure 3. Measured (when $T_a > 10\text{ °C}$) and Eq. (11) estimated monthly E rates at two FLUXNET stations over an irrigated, and a rainfed (maize in one year, soybean the other for both parcels) crop near Mead, Nebraska (USA) for months with larger than average difference in irrigated and rainfed E rates

Note: In the right panel the curves represent Eq. (11) for the two calibrated, b_{opt} , values



4. ábra. A teszteléshez felhasznált 124 FLUXNET állomás területi eloszlása

Figure 4. Spatial distribution of the 124 FLUXNET stations employed for calibration/validation

A paraméterek (nulla, egy, vagy kettő) lokálisan (állomásról állomásra), illetve globálisan is (egy darab kalibrált értéket eredményezve) kalibrálva lettek a legkisebb négyzetek elve szerint. A kalibráció eredményét az 1. táblázat tar-

talmazza a kalibrálandó paraméterek száma, illetve a kalibráció módja (lokális vagy globális) szerint. Nem meglepő módon, a legpontosabb modellváltozatot a két-paraméteres lokális kalibráció eredményezi (1. táblázat, 5. ábra).

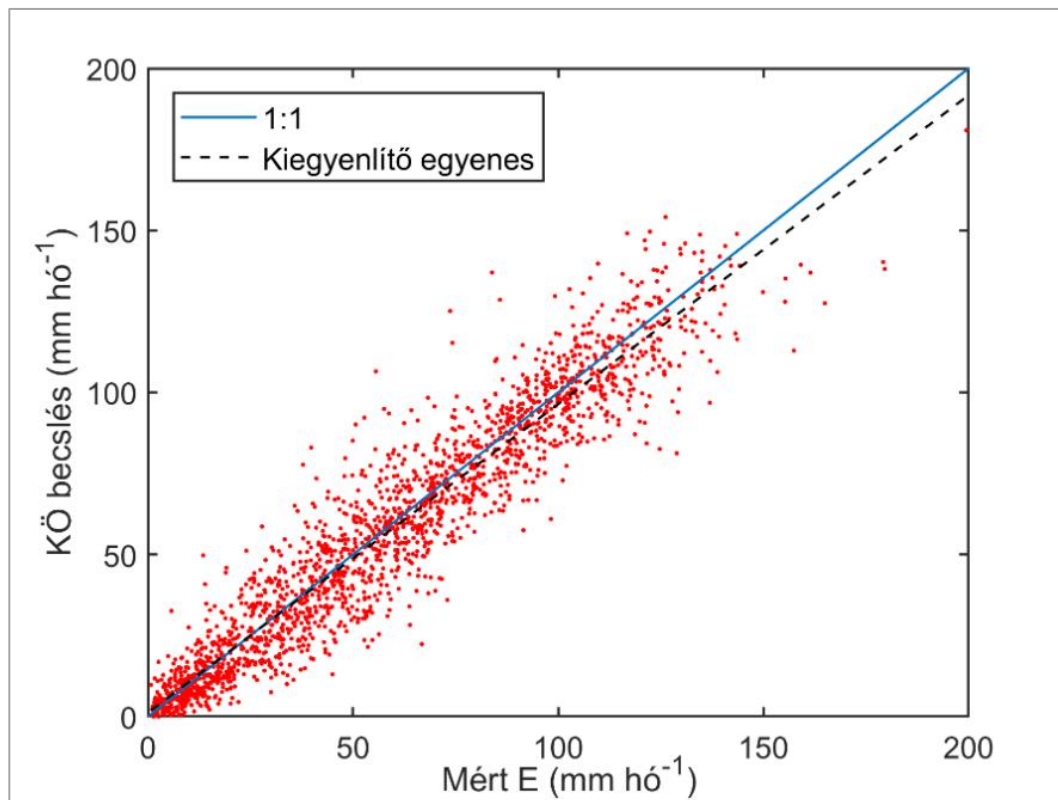
1. táblázat. A (11) egyenlet havi becsléseinek hatékonysági mutatói

Megjegyzés: R: lineáris korrelációs együttható; R²: a mért értékek modell által megmagyarázott szórása; RMSE: négyzetes középhiba; NSE: Nash-Sutcliffe féle modell hatékonysági mutató. A kapcsos zárójel az állomásonként (lokálisan) kalibrált (n = 124) modellparaméter számtani átlagát jelöli

Table 1. Performance statistics of Eq. (11) with different parameter-calibration choices

Note: R: linear correlation coefficient between measured and estimated monthly E values; R²: explained variance; RMSE: root-mean-squared-error; NSE: Nash-Sutcliffe model efficiency. (...) denotes the mean (n = 124) of the locally calibrated parameter value specified

Egy, illetve két paraméter lokális kalibrációja	R	R ² (%)	RMSE (mm/hó)	NSE (%)	Kiegyenlítő vonal meredeksége
5. ábra ⟨a _{opt} ⟩ = 1,15 ⟨b _{opt} ⟩ = 1,75	0,953	90,91	11,61	90,53	0,953
6. ábra ⟨a _{opt} ⟩ = 1,18 b ≡ 2	0,941	88,64	13,53	87,13	0,977
Egy, illetve két paraméter globális kalibrációja					
7. ábra a _{opt} = 1,09 b _{opt} = 1,4	0,904	81,67	16,4	81,09	0,875
8. ábra a _{opt} = 1,15 b ≡ 2	0,902	81,28	18,06	77,07	0,982
Kalibrációmentes eset					
9. ábra α = f(T _w) b ≡ 2	0,896	80,37	17,76	77,82	0,946



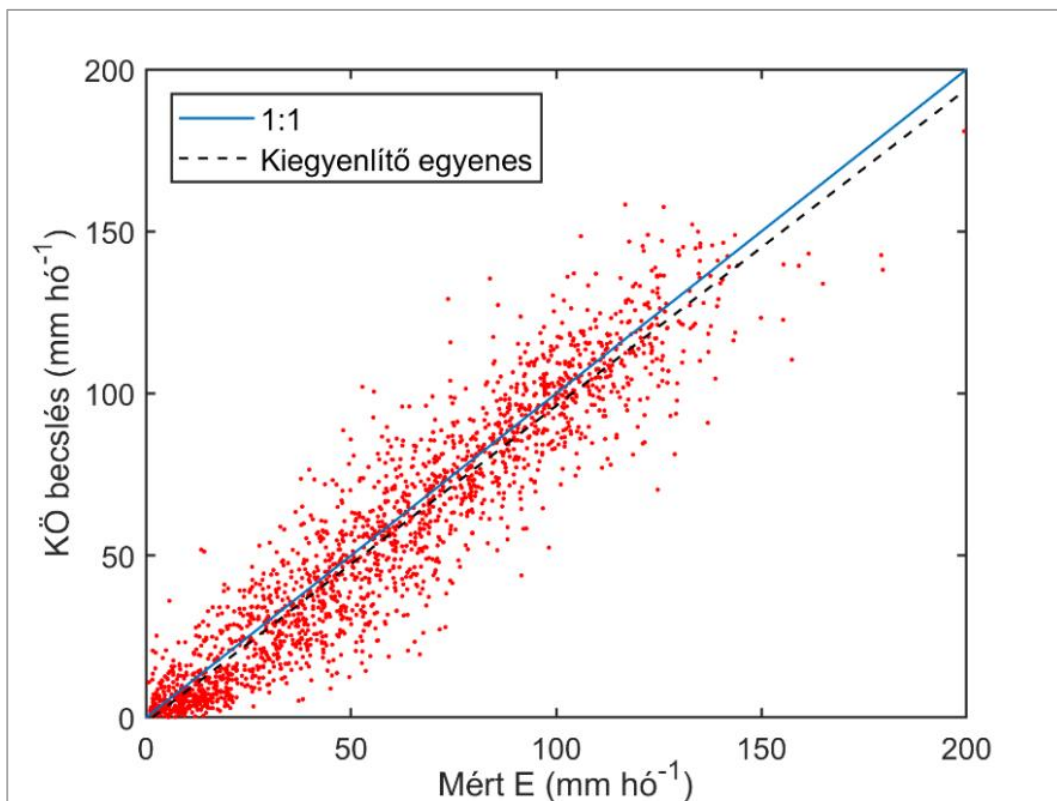
5. ábra. A mért havi és a lokálisan kalibrált két-paraméteres KÖ modell párolgásbecsléseinek összetartozó értékpárjai
Megjegyzés: A négyzetes átlaghiba mindössze 11,61 mm/hó, 90%-ot meghaladó modellhatékonyság mellett (1. táblázat)

Figure 5. Regression plot of the measured and CR-estimated monthly values after local (station-by-station) calibration of the two parameters

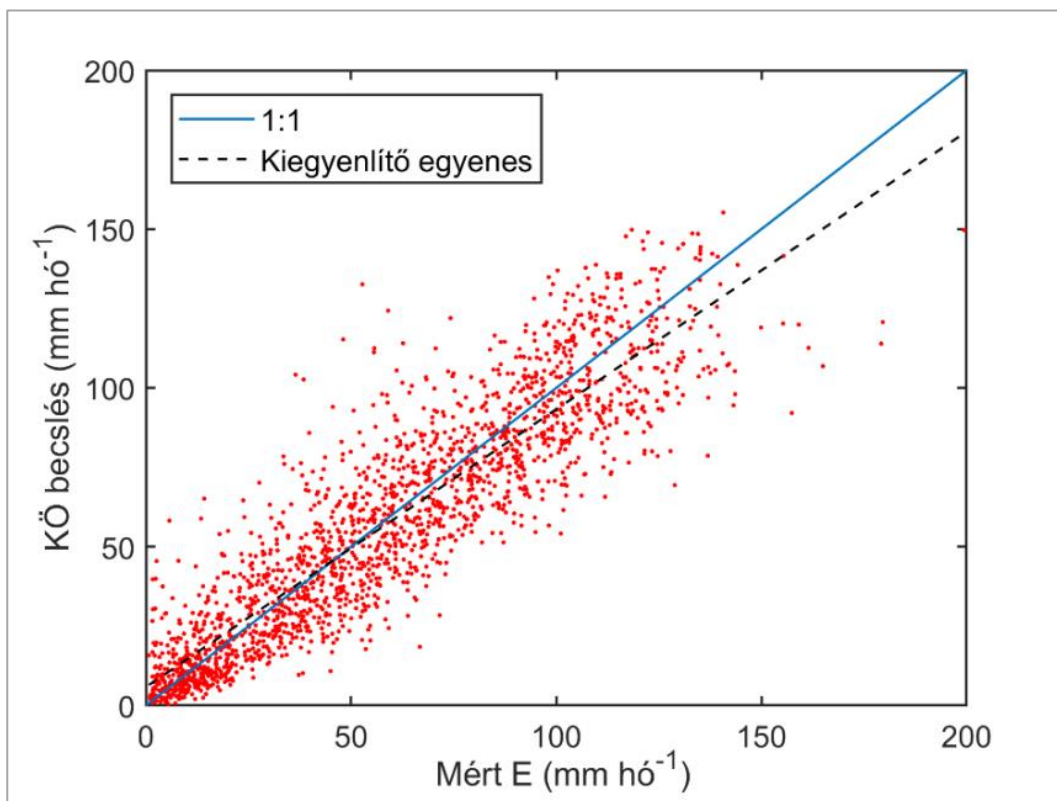
Note: RMSE (root-mean-squared-error) is 11.61 mm/mo, with a Nash-Sutcliffe model efficiency (NSE) in excess of 90% (Table 1.)

A polinomiális verzió ($b = 2$) modellhatékonysága a vártnak megfelelően (hiszen csak egy kalibrálandó paraméter maradt) valamelyest kisebb, míg a kiegyenlítő vonal meredeksége kis javulást is mutat (1. táblázat, 6. ábra).

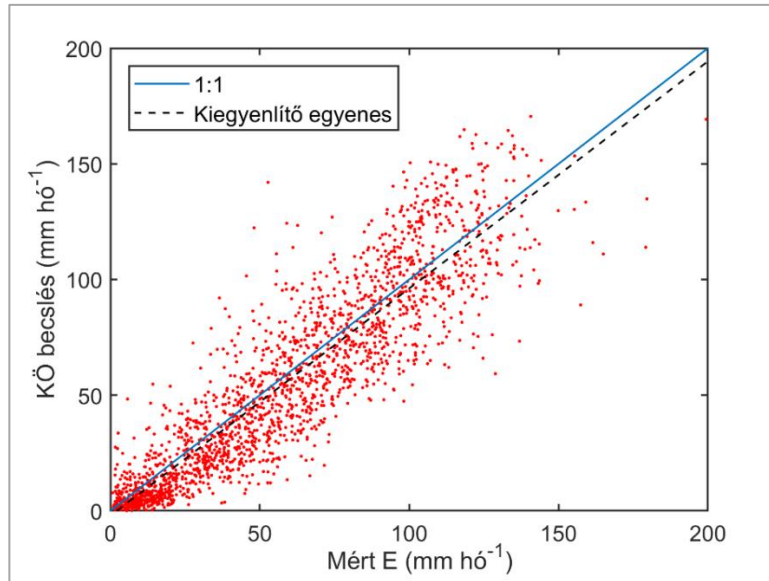
A globális kalibrálásra váltás nagyjából további 10%-os modellhatékonyság-romlást eredményez a két-paraméteres változatban (7. ábra, 1. táblázat), míg az egy-paraméteresre váltás már csupán további 4%-ot ront (8. ábra, 1. táblázat), viszont a kiegyenlítő egyenes meredekségében jelentős javulással jár.



6. ábra. A mért havi és a lokálisan kalibrált egy-paraméteres KÖ modell párolgásbecsléseinek összetartozó értékpárjai
 Megjegyzés: A négyzetes átlaghiba 13,53 mm/hó, 87%-os modellhatékonyság mellett (1. táblázat)
 Figure 6. Regression plot of the measured and CR-estimated monthly E values after local (station-by-station) calibration of the single parameter (α)
 Note: RMSE is 13.53 mm/mo, NSE is about 87% (Table 1)



7. ábra. A mért havi és a globálisan kalibrált két-paraméteres KÖ modell párolgásbecsléseinek összetartozó értékpárjai
 Megjegyzés: A négyzetes átlaghiba 16,4 mm/hó, 81%-os modellhatékonyság mellett (1. táblázat)
 Figure 7. Regression plot of the measured and CR-estimated monthly E values after global calibration of the two parameters
 Note: RMSE is 16.4 mm/mo, NSE is about 81% (Table 1)

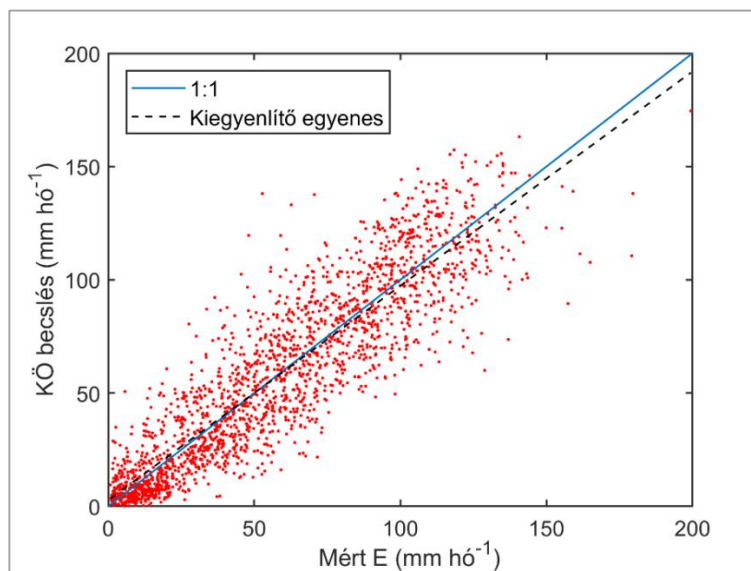


8. ábra. A mért havi és a globálisan kalibrált egy-paraméteres KÖ modell párolgásbecsléseinek összetartozó értékpárjai
Megjegyzés: A négyzetes átlaghiba 18,06 mm/hó, 77%-os modellhatékonyság mellett (1. táblázat)

Figure 8. Regression plot of the measured and CR-estimated monthly E values after global calibration of the single parameter (α)
Note: RMSE is 18.06 mm/mo, NSE is about 77% (Table 1.)

Végezetül a kalibrációmentes KÖ modellváltozat a hőmérsékletfüggő Priestley-Taylor paraméter bevezetésével kismértékben javít is mind a négyzetes átlaghiban, mind a modellhatékonyságon (9. ábra, 1. táblázat) az egy-paraméteres globálisan kalibrált modellel (8. ábra, 1. táblázat) összehasonlítva. A kalibrációmentes KÖ változat ugyanis, szinte minden teljesítménymutatójában jelentősen javít Morton WREVP programjának (Morton és társai

1985) hasonló értékein (Szilágyi és Crago 2023). Ez azért lehetséges, mert a párolgás korábban heurisztikus megközelítésén alapuló komplementáris összefüggése végre szilárd termodinamikai alapokra lett helyezve az elmúlt évtizedek intenzív kutatómunkájának köszönhetően (Szilágyi és Józsa 2008, Szilágyi 2015, 2018, Szilágyi és társai 2014, 2017, 2022, Brutsaert 2015, Crago és társai 2016, Crago és Qualls 2021, Szilágyi és Crago 2023).



9. ábra. A mért havi és a kalibrációmentes KÖ modell párolgásbecsléseinek összetartozó értékpárjai
Megjegyzés: A négyzetes átlaghiba 17,76 mm/hó, közel 78%-os modellhatékonyság mellett (1. táblázat)

Figure 9. Regression plot of the measured and estimated E values of the calibration-free CR model
Note: RMSE is 17.76 mm/mo, with an NSE value close to 78% (Table 1)

ÖSSZEGZÉS

A területi párolgás heti, havi, éves értékei jól becsülhetők a komplementáris összefüggés (11)-ben megadott hatványkitevős formulájával, minimális számú és egyszerű meteorológiai változó megadásával. A módszer nagy előnye, hogy nem igényel se csapadékadatot (ami térben a legváltozékonyabb meteorológiai tényező, így csekély

számú pontszerű mért értékei rosszul reprezentálják a kívánt területi átlagot, ráadásul maguk a pontszerű mérések is jelentős alulbecsléssel bírhatnak), se talajnedvesség, növénytakaró, földhasználat stb. információt. (11) a területi párolgást a potenciális és nedves környezeti párolgás különbségére vezeti vissza, aminek nagy előnye, hogy mindkét változó már csak meteorológiai tényezők függvénye.

(11) a komplementáris összefüggést termodinamikai alapokra helyezi a korábban alkalmazott heurisztikus megközelítésekkel szemben, ami a KÖ pontosságát/megbízhatóságát (*Ma és Szilágyi 2019, Ma és társai 2015, 2019, 2020, 2021, Szilágyi és társai 2022*) nagyban növeli. A módszer két paramétert tartalmaz, de a polinomiális változata már csupán egyet, a Priestley-Taylor α -t, amit viszont a nedves környezeti hőmérséklet egyszerű függvényeként lehet megadni (*Andreas és társai 2013, Szilágyi és társai 2014*), és így a KÖ-t kalibrációmentes alakra hozni. A kalibrációmentes változat nagy szolgálatot tehet olyan esetekben, amikor nem állnak rendelkezésre mért vagy vízmérlegekből levezethető párolgásértékek.

A módszer maximum két paramétere könnyen kalibrálható az 1-1,32 (α), illetve 1-10 (b) intervallumokon, pl. a legegyszerűbb úgynevezett „trial-and-error” módszerrel, ami a két paraméter-intervallum diszkrét felbontását és az így kapott paraméter-érték párok szisztematikus kipróbálását jelenti pl. a négyzetes középhiba számításának segítségével. A (7) egyenlet iterációt igénylő megoldása megkapható pl. az Excelben megtalálható beépített gyökkereső algoritmusok igénybevételével.

A komplementáris összefüggés alkalmazása nem javasolt öt napnál rövidebb időlépcsőben (*Morton 1983*), mivel a felszín és a felette elhelyezkedő levegő közti dinamikus egyensúly beálltához némi idő szükséges. A módszer nem javasolt olyan meleg száraz/félszáraz éghajlatú földrajzi helyeken (pl. mediterrán, illetve forró sivatagi klímájú partvidékek), ahol a tenger felől érkező nedves légtömegek nagyban akadályozhatják a felszín-levegő rendszer dinamikus egyensúlyi állapotának kialakulását.

Egyszerűsége, rugalmassága, minimális adatigénye és pontossága miatt (11) remélhetőleg széles alkalmazást nyer majd a hazai vízgazdálkodási/tájökológiai/hidrometeorológiai célú számításokban a területi párolgás megbízható becslésére. A regionális klímamodellek szolgáltatotta bemenő változók (lég hőmérséklet, légnedvesség, sugárzási egyenleg, szélesebbégg) segítségével a területi párolgás jövőbeni értékei ma már könnyen számolhatók pl. nagyjából 10x10 km-es térbeli felbontásban Magyarországon bármely területére. A minimális számú, egyszerű meteorológiai adatigény azt is lehetővé teszi, hogy a területi párolgás – pl. a Zala vízgyűjtőjén – sok évtizedes múlt és jövőbeni trendjeit is vizsgálhassuk, ami a hosszútávú vízgazdálkodási tervezésekben – különösen a jelenleg zajló klímaváltozás tükrében – fontos szerepet kaphat.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A közlemény a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alap TKP-6-6/PALY-2021 számú projekt; a TKP2021-NVA pályázati program, valamint a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg. Köszönet a bírálóknak konstruktív javaslataikért. Richard Crago segítsége a FLUXNET adatok feldolgozásában külön említésre méltó.

IRODALOMJEGYZÉK

Andreas, E.L., Jordan, R.E., Mahrt, L., Vickers, D. (2013). Estimating the Bowen ratio over the open and ice-covered ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118. pp. 4334-4345. <https://doi.org/10.1002/jgrc.20295>

Bouchet, R. (1963). Evapotranspiration réelle et potentielle, signification climatique. *International Association of Hydrological Sciences Publications*, 62. pp. 134-142.

Brutsaert, W. (1982). *Evaporation into the atmosphere: Theory, history, and applications*, Dordrecht. Holland: D. Reidel. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-1497-6>

Brutsaert, W. (2015). A generalized complementary principle with physical constraints for land-surface evaporation. *Water Resources Research*, 51(10). pp. 8087-8093. <https://doi.org/10.1002/2015WR017720>

Crago, R., Szilágyi, J., Qualls, R., Huntington, J. (2016). Rescaling the complementary relationship for land surface evaporation. *Water Resources Research*, 52(11). pp. 8461-8471. <https://doi.org/10.1002/2016WR019753>

Crago, R., Qualls, R. (2021). A graphical interpretation of the rescaled complementary relationship for evapotranspiration. *Water Resources Research*, 57(8). <https://doi.org/10.1029/2020WR028299>

Ma, N., Zhang, Y., Szilágyi, J., Guo, Y., Zhai, J., Gao, H. (2015). Evaluating the complementary relationship of evapotranspiration in the alpine steppe of the Tibetan Plateau. *Water Resources Research*, 51. pp. 1069-1083. <https://doi.org/10.1002/2014WR015493>

Ma, N., Szilágyi, J. (2019). The CR of evaporation: a calibration-free diagnostic and benchmarking tool for large-scale terrestrial evapotranspiration modeling. *Water Resources Research*, 55. <https://doi.org/10.1029/2019WR024867>

Ma, N., Szilágyi, J., Zhang, Y., Liu, W. (2019). Complementary-relationship-based modeling of terrestrial evapotranspiration across China during 1982-2012: Validations and spatiotemporal analyses. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124. <https://doi.org/10.1029/2018JD029850>

Ma, N., Szilágyi, J., Józsa, J. (2020). Benchmarking large-scale evapotranspiration estimates: A perspective from a calibration-free complementary relationship approach and FLUXCOM. *Journal of Hydrology*, 590. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125221>

Ma, N., Szilágyi, J., Zhang, Y. (2021). Calibration-free complementary relationship estimates terrestrial evapotranspiration globally. *Water Resources Research*, 57. e2021WR029691. <https://doi.org/10.1029/2021WR029691>

Monteith, J.L. (1981). Evaporation and surface temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 107(451). pp. 1-27. <https://doi.org/10.1002/qj.49710745102>

Morton, F.I. (1983). Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *Journal of Hydrology*, 66. pp. 1-76.

Morton, F.I., Ricard, F., Fogarasi, F. (1985). Operational estimates of areal evapotranspiration and lake evaporation – Program WREVP. NHRI Paper 24, National Hydrologic Research Institute, Saskatoon, Canada.

Pastorello, G., Trotta, C., Canfora, E., Chu, H., Christianson, D., Cheah, Y.W., Poindexter, C., Chen, J., Elbashandy, A., Humphrey, M., Isaac, P. (2020). The FLUXNET2015 dataset and the ONEFlux processing pipeline for eddy covariance data. *Scientific Data*, 7(1). p. 225. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0534-3>

Penman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 193, pp. 120-145. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>

Priestley, C.H.B., Taylor, R.J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2). pp. 81-92. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2)

Qualls, R.J., Crago, R.D. (2020). Graphical interpretation of wet surface evaporation equations. *Water Resources Research*, 56, e2019WR026766. <https://doi.org/10.1029/2019WR026766>

Szilágyi J. (2014). Temperature corrections in the Priestley-Taylor equation of evaporation. *Journal of Hydrology*, 519, pp. 455-464. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.07.040>

Szilágyi J. (2015). Complementary relationship-based 30-year normals (1981-2010) of monthly latent heat fluxes across the contiguous United States, *Water Resources Research*, 51, pp. 9367-9377, <https://doi.org/10.1002/2015WR017693>

Szilágyi J. (2018). A calibration-free, robust estimation of monthly land surface evapotranspiration rates for continental-scale hydrology. *Hydrology Research*, 49. <https://doi.org/10.2166/nh.2017.078>

Szilágyi J. (2021). On the thermodynamic foundations of the complementary relationship of evaporation. *Journal of Hydrology*, 593. 125916. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125916>

Szilágyi J., Józsa J. (2008). New findings about the complementary relationship-based estimation methods. *Journal of Hydrology*, 354(1-4). pp. 171-186. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.03.008>

Szilágyi, J., Schepers, A. (2014). Coupled heat and vapor transport: The thermostat effect of a freely evaporating land surface. *Geophysical Research Letters*, 41, <https://doi.org/10.1002/2013GL058979>

Szilágyi, J., Crago, R.D. (2023). A thermodynamics-based versatile evapotranspiration estimation method of minimum data requirement for water resources investigations. *Journal of Hydrology*, 624, 129917. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129917>

Szilágyi, J., Parlange, M.B., Katul, G.G. (2014). Assessment of the Priestley-Taylor parameter value from ERA-Interim global reanalysis data. *Journal of Hydrology and Environmental Research*, 2(1). pp. 1-7. https://snr.unl.edu/szilagy/Szilagyietal_offprint.pdf

Szilágyi, J., Crago, R., Qualls, R. (2017). A calibration-free formulation of the complementary relationship of evaporation for continental-scale hydrology. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(1). pp. 264-278. <https://doi.org/10.1002/2016JD025611>

Szilágyi, J., Ma, N., Crago, R.D., Qualls, R.J. (2022). Power-function expansion of the polynomial complementary relationship of evaporation. *Water Resources Research*, 58(11). e2022WR033095. <https://doi.org/10.1029/2022WR033095>

Tetens, O. (1930). Über einige meteorologische Begriffe. *Zeitschrift für Geophysik*, 6. pp. 297-309.

Tetens, O. (1930). Über einige meteorologische Begriffe. *Zeitschrift für Geophysik*, 6. pp. 297-309.

A SZERZŐ



SZILÁGYI JÓZSEF hidrológiai szakágazattal kiegészített okleveles meteorológus diplomáját az ELTE Földtudományi Karán szerzi meg 1989-ben. 1992-ig a VITUKI Országos Vízjelző Szolgálatának operatív hidrometeorológusa. 1994-ben a New Hampshire-i (USA) Egyetemen hidrológiai MSc, majd 1997-ben a Kaliforniai Egyetemen (Davis) PhD fokozatot kap. 2005-ig a Nebraskai Egyetem (Lincoln) kutatója, majd a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem docense, illetve 2009-től egyetemi tanára. 2005-ben MTA doktora címet szerez. Jelenleg a Vízgazdálkodástudományi Bizottság elnöke, a *Journal of Hydrology* szerkesztőbizottsági tagja. 2022-ben Vásárhelyi Pál díjazott.

Az éghajlatváltozás várható hatásának integrált, modell alapú becslése a Felső-Tisza vízjárására, a bizonytalanság számszerűsítésével

Kis Anna*, Pongrácz Rita*, Bartholy Judit*, Szabó János Adolf**

*ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.
(e-mail: kиаqagt@staff.elte.hu, pongracz.rita@ttk.elte.hu, bartholy.judit@ttk.elte.hu)

**HYDROInform, Hidroinformatikai Kutató, Rendszerfejlesztő és Tanácsadó Bt., 1029 Budapest, Ördögárok utca 148.
(e-mail: janos.szabo@hydroinform.hu)

DOI:10.59258/hk.13172



Kivonat

Tanulmányunkban a Felső-Tisza vidékére a klímaváltozásból eredő felszíni lefolyás várható megváltozását célzó becsléseink eredményeit foglaljuk össze, amelyeket szekvenciálisan végrehajtott többmodelles szimulációk alkalmazásával nyertünk. Az elemzés meteorológiai adatait a historikus időszakokra a CARPATCLIM adatbázis, a jövőre pedig a RegCM4 regionális klímamodell szolgáltatata. Elemzési koncepcióknak megfelelően első lépésként a tény és a szimulált meteorológiai változók belső statisztikus variabilitásának számszerűsítésére egy Monte-Carlo ciklusba ágyazott időjárás-generátort (a DIWA-SDSWG-t) alkalmaztunk, amely képes előállítani reális, azonos valószínűségű, független szintetikus meteorológiai idősorokat. Majd ezen szintetikus adatokkal – mint felső peremfeltétellel – hajtottuk meg a fizikai alapú, térben és paramétereiben is osztott DIWA hidrológiai modellt, amely ezáltal megadta az adott meteorológiai szekvenciák hidrológiai válaszait, melyekből előállíthatóvá váltak a becslési bizonytalanság statisztikai jellemzői is. Eredményeink szerint a XXI. század során a napi középvízhozamok csökkenése várható a Felső-Tisza tiszabecsi szelvényében az évi átlagokat tekintve. A nyári hónapok lefolyásának jelentős csökkenése valószínűsíthető (különösen júliusban és augusztusban), míg januárra és februárra egy kisebb mértékű növekedésre számíthatunk. A harmadfokú árvízvédelmi készültségi szintet meghaladó esetek száma várhatóan szignifikánsan kevesebb lesz a XXI. század közepére és végére, azonban ezek időnként árvíz-tömegükben súlyosabbak lehetnek a jelenleg megszokottnál. A kritikusan alacsony mederteltségek gyakoriságában drasztikus növekedésre számíthatunk a július és október közötti időszakban a jövőben, amely a századvégi időszakban jelentősebb.

Kulcsszavak

Klímaváltozás hatáselemzése, hidrológiai állapotok gyakorisági elemzése, térben osztott sztochasztikus időjárás-generátor, osztott hidrológiai modellezés, RegCM4 regionális klímamodell, hibakorrekción, Monte-Carlo szimuláció, esettanulmány, Felső-Tisza.

An integrated, model-based estimation of the projected impact of climate change on the Upper-Tisza, with the quantification of uncertainty

Abstract

The effects of climate change on hydrological time series are evaluated, based on an integrated, model-based projection. Simulations were completed for the past and future using the distributed, physically based DIWA hydrological model adapted for the Upper-Tisza catchment. The hydrological simulations were driven by meteorological time series: the observation based CARPATCLIM dataset (1961-2010) and the RegCM4 regional climate model simulation (1971-2099). Several possible meteorological time series were created for the historical and the future period as well by a weather generator (DIWA-SDSWG) embedded in a Monte Carlo cycle resulting in hundreds of independent, equally probable time series, hence uncertainty can be assessed, too. The systematic errors of the RCM simulations were eliminated by fitting the parameters of the weather generator based on the differences in the historical period. According to our results, a decrease of the daily average water discharge is likely to occur at Tiszabecs in the 21st century, especially in July and August, while for January and February a moderate increase is projected. On the one hand, the third level of flood warning is projected to occur less frequent in the future (both in the middle and at the end of the 21st century), however, occasionally, they will tend to become more severe than in the historical time period. On the other hand, the occurrence of water discharges below the critical low water level is likely to increase remarkably between July and October, especially by the end of the 21st century.

Keywords

Climate change impact analysis, frequency analysis of hydrological variables, spatially distributed stochastic weather generator, distributed hydrological modelling, RegCM4 regional climate model, bias correction, Monte Carlo simulation, case study, Upper-Tisza.

BEVEZETÉS, A KUTATÁS-FEJLESZTÉS MOTIVÁCIÓJA, CÉLJA

Napjainkban már nem kérdés, hogy a klímaváltozás nem csupán magasabb átlaghőmérsékleti értékeket jelent: a csapadék tér- és időbeli megváltozása mellett az extrém időjárási események gyakorisága és intenzitása is növekszik (IPCC 2021). Ezek a változások szerteágazó hatásokkal járnak, beleértve a természeti-, környezeti- és gazdasági rendszerekben okozott károkat is.

Jelen vizsgálatban az éghajlatváltozás felszíni lefolyásra gyakorolt hatásának elemzését tűztük ki célul, integrált modell alapú módszerekkel – hiszen adott vízgyűjtőn a lefolyást –és annak szélsőségeit – a klimatikus variabilitás megváltozása súlypontilag alakítja. A víz túlzott többlete és hiánya egyaránt komoly károkat okozhat – gondolhatunk az ivóvízellátásra, a mezőgazdaságra, az ipari tevékenységre, a hajózhatóságra és az energiatermelésre –, de megfelelő felkészüléssel ezek kivédhetők, vagy leg-

alább mérsékelhetők. Például öntözési gazdálkodással enyhíthetők az aszálykárak, míg árvizek esetén a hullámter-növelése, illetve gátak, mobilgátak, szükségeltartozók, árvízvédelmi töltések nyújthatnak megoldást. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a lehetséges károk minimalizálásához nem elég a technikai megoldások megléte – a sikeres alkalmazkodás egyik feltétele a várható vízkészlet-eloszlás megbízható becslése a jövőre vonatkozóan.

Elemzésünk egy éghajlati, egy térben osztott sztochasztikus időjárás-generátor (SDSWG: Spatially Distributed Stochastic Weather Generator) és egy hidrológiai modell megfelelő összekapcsolásával a Felső-Tisza-vidék tiszabecsi szelvényére fókuszál. A következőkben az alkalmazott módszertan és a felhasznált adatok, modellek mellett a célterületen a jövőben valószínűsíthető lefolyás változásokat ismertetjük, nemcsak az átlagok, de az extrémumok és a bizonytalanság tekintetében is.

A MÓDSZERTAN ÁTTEKINTÉSE

Elemzéseink fő pillére egy specifikusan összeállított, szekvenciálisan végrehajtott többmodelles szimulációk sorozata épülő numerikus modellezési koncepció.

Ennek megfelelően a koncepció alaplépései:

1) az elemzés térben osztott napi rácsponti meteorológiai adatait a historikus időszakra a méréseken alapuló homogenizált és szabályos $0,1^\circ$ -os horizontális felbontású

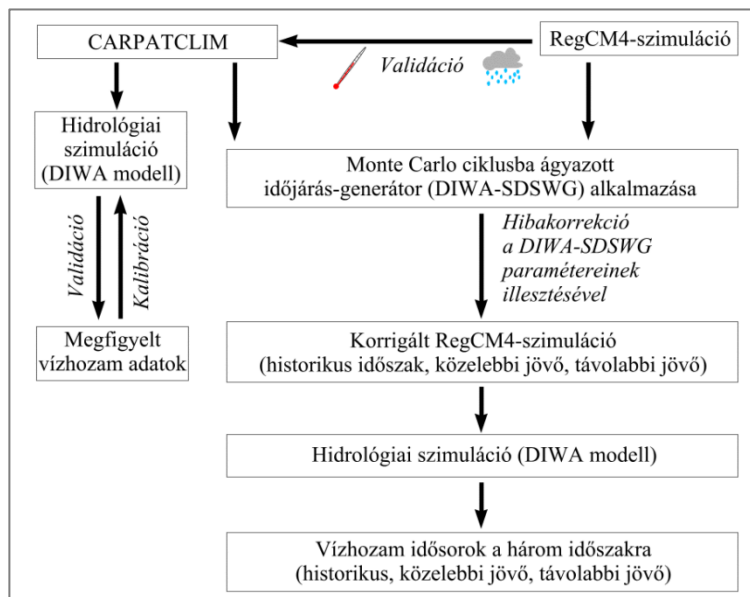
rácsra interpolált CARPATCLIM (Bihari és Szentimrey 2013, Spinoni és társai 2015) adatbázis,

2) a jövőbeli időszakokra pedig a RegCM4 (Elguindi és társai 2011) regionális klímamoddell (Regional Climate Model, röviden RCM) kimenete szolgáltatja az adatokat az RCP8.5 (Representative Concentration Pathway 8.5) forgatókönyv figyelembevételével (van Vuuren és társai 2011),

3) Az éghajlati modellnek a valóságtól való szisztematikus eltéréseinek kiküszöbölésére a modelladatokon hibakorrektiót hajtottunk végre,

4) Ezt követően a tény és a szimulált meteorológiai paraméterek belső statisztikus variabilitásának számszerűsíthetősége érdekében egy, a paraméterekkel meghajtott Monte-Carlo (MC) ciklusba ágyazott időjárás-generátort, a DIWA-SDSWG-t (HYDROInform 2012) alkalmaztunk, amely képes előállítani reális, azonos valószínűségű, független szintetikus meteorológiai idősorokat,

5) Végül ezen szintetikus adatokkal – mint felső peremfeltétellel – hajtottuk meg a fizikai alapú, térben és paramétereiben is osztott DIWA (Szabó 2007) hidrológiai modellt, amely ezáltal megadta az adott meteorológiai szekvenciák hidrológiai válaszait (jelen esetben a felszíni lefolyást) mint a keresett hatás egy-egy lehetséges realizációját, és melyekből aztán előállíthatóvá váltak a becslési bizonytalanság statisztikai jellemzői is (1. ábra).



1. ábra. A tanulmányban alkalmazott módszer folyamatábrája
Figure 1. Flowchart of the methodology of the present study

A figyelembe vett RCP8.5-ös forgatókönyv megfelel a jelenlegi trendeknek, azaz egy olyan jövőképet tekintetünk, ami a mostani viszonyok extrapolálást jelent. Azt vizsgáltuk, hogy mi történik, ha folytatódnak az eddigi tendenciák, vagyis lényegében nem teszünk semmit a klímaváltozás mérséklésének érdekében. E szerint a meglehetősen pesszimista scenárió szerint az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja folyamatosan növekedni fog, és a XXI. század végére a sugárzási kényszer $8,5 \text{ W/m}^2$ -rel lesz magasabb az ipari forradalom előtti értékhez képest. A szén-dioxid egyenértékben kifejezett üvegházgáz-koncentráció 2100-ra $1\,370 \text{ ppm}$ lesz. A forgatókönyv feltételezései alapján ezt a növekedést például úgy fogjuk elérni,

hogy a Föld népessége és az energiaigény több lesz. A fosszilis energiahordozókra továbbra is támaszkodunk majd, habár a megújuló energiaforrások/atomenergia használata is emelkedni fog. A mezőgazdasági területek és legelők aránya növekedni, a természetes vegetáció kiterjedése viszont várhatóan csökkenni fog a jövőben. A RegCM4 futtatásához szükséges kezdeti- és peremfeltételeket a RegCM4 50 km-es futtatása biztosította, amelyet a brit HadGEM2 (Collins és társai 2011) globális modell vezérelt. Referencia időszakként az 1972-2001-es periódust választottuk – melynek így a 2001-es extrém tiszai árvíz is része volt –, a jövőre vonatkozó becsléseket pedig két időszakra végeztük el: a XXI. század közepére (2021-2050)

és végére (2069-2098). Az eredményeket a tiszabecsi szelvényre értékeltük, amelyre rendelkezésünkre állt a napi (reggeli) vízhozam idősor az 1997-2005-ös időszakra a FETIVIZIG Vízzrajzi Osztályának jóvoltából, ami az Országos Vízzrajzi Adattárból nyerhető ki.

Az MC ciklusba ágyazott DIWA hidrológiai modell futtatások eredményeként napi léptékű vízhozam idősorokat kaptunk, majd ebből meghatároztuk a keresett statisztikai jellemzőket: az éves átlagokat, a havi léptékű eloszlásfüggvényeket, a harmadfokú árvízvédelmi készültségi szintnek megfelelő vízhozam értékek meghaladási gyakoriságait, valamint a sokévi átlagok alapján definiált kritikusan alacsony vízszint alatti szintnek megfelelő vízhozam értékek előfordulási számát. A következőkben részletesebben ismertetjük a felhasznált adatokat, modelleket és az alkalmazott eljárásokat.

Globális és regionális klímamodell-szimulációk

A globális éghajlati rendszer leírására és a jövőben várható tendenciák megadására elsődlegesen a globális éghajlati modellek (Global Climate Models, röviden GCM-ek) alkalmasak. Ezen modellek fizikai alapú közelítése képes a légkör általános cirkulációját és annak természetes és antropogén változásait is leírni. A kutatási eredmények értékelése során az elmúlt évszázadra vonatkozó modellfuttatásokból következtethetünk a múltban lezajlott éghajlatváltozások okaira, s ezen információkat felhasználhatjuk a jövőre vonatkozó éghajlati becslésekhez.

A klímamodellek légköri részét az ún. hidro-termodinamikai egyenletrendszer alkotja. Ez pontosan ugyanazokat a fizikai törvényeken alapuló egyenleteket – azaz a kontinuitási egyenletet, a Navier-Stokes-féle mozgásegyenletet és az energiamegmaradást kifejező termodinamikai alapegyenletet – tartalmazza, mint amik a rövidtávú időjárás-előrejelző modellekben használatosak. Ennek ellenére jelentős a különbség közöttük. Ugyanis az időjárás néhány napos előrejelzése esetén a légkör változásaira fókuszálunk és az éghajlati rendszer többi elemeinek – nevezetesen az óceán, a krioszféra vagy a szárazföldi vegetáció – a változásaival nem foglalkozunk. Azokra olyan kényszerként tekintünk, melyek a légköri folyamatok alakulását meghatározzák, de a vizsgált időtávon maguk nem változnak. Ismerte az éghajlati rendszer elemeinek különböző folyamataira jellemző karakterisztikus időtartamokat, ez a nézőpont a 9-10 napos időtávban tökéletesen megfelelő. A légkörben sokkal gyorsabb folyamatok jelentkeznek, mint akár az óceánban, vagy akár a hó- és jégtakaró különböző elemeiben. Ezzel ellentétben az éghajlati modellek jövőre vonatkozó szimulációi a légkörfizikai előrejelzéseken túlmutatnak. Az éghajlati rendszer más elemeiben is tartalmazhatnak módosulást, így az óceánt, a krioszférát, s a szárazföldi vegetációt is úgy tekintjük, hogy a légkörrrel és egymással is kölcsönhatásban változhatnak. A természeti környezet alakulása mellett a klímamodellek számos társadalmi és gazdasági folyamat éghajlatra gyakorolt hatását is figyelembe vesszük, s minimálisan 30 évre, de még jobb, ha teljes évszázadnyi időtartamra történik a futtatásuk. A lehetséges társadalmi-gazdasági jövőképek következményeképpen alakuló üvegházhatású gázkoncentrációk határozzák meg alapvetően a különböző

lehetséges éghajlati forgatókönyveket. Ezek tartalmazzák az éghajlati rendszer válaszait a változó környezeti és antropogén kibocsátási feltételekre. Ahhoz, hogy a bizonytalan jövőkép következményeit becsülhessük, többféle forgatókönyvre és többféle modellközelítésre van szükség. A nagyszámú modellfuttatás eredményeinek együttes elemzése lehetővé teszi a várható változásokhoz valószínűségi értékek hozzárendelését, s ezáltal a jövőre vonatkozó éghajlati becslések bizonytalanságának számszerűsítését. Tehát a modellszimulációk felhasználásával végső soron a változások lehetséges tartományát adjuk meg, és a változások tendenciáit a modellek eredményei alapján vetítjük előre.

A jövőben várható éghajlat becsléséhez a legelső lépés általában a GCM-ek alkalmazása, melyekkel a teljes Földre vonatkozóan lehetséges az éghajlati rendszer elemeinek fizikai alapú leírása. Napjainkra ezek a GCM-ek meglehetősen finom – akár 1-2°-os – térbeli felbontással futtathatók, ám egyes országok, kisebb régiók részletesebb elemzéséhez a kapott eredmények további finomítása, leskálázása szükséges. Ez történhet statisztikai vagy dinamikai közelítés alkalmazásával. (1) A statisztikus leskálázás során olyan statisztikai összefüggéseket használunk fel, melyek meghatározása az észlelt adatsorok alapján történt. Ez ugyan viszonylag kisebb számítástechnikai kapacitást igényel, de ehhez a közelítéshez nagy mennyiségű, jó minőségű, hosszú időtartamot felölelő mért adatsorokra van szükség, melyek általában nem állnak rendelkezésre. A módszer legnagyobb hátránya az a feltételezés, hogy a múltban érvényes statisztikai összefüggések változatlanok maradnak a jövőben esetlegesen változó klíma esetén is. (2) A dinamikus leskálázás során finom (10-25 km) térbeli felbontású RCM-eket használunk kisebb térségekre (kontinentális vagy annál is kisebb régiókra), amelyek futtatásához szükséges bemeneti adatokat a GCM-ek szolgáltatják. Az RCM-ek lehetővé teszik a felszíni domborzat pontosabb leírását, a felszínborítottság és a talajtípusok precízebb megadását, valamint a mezoskálájú nem-lineáris hatások figyelembe vételét. Az RCM-ek alkalmazásának korláta a nagyobb számítástechnikai kapacitás igény. Ugyanakkor a fizikai rendszerben lejátszódó folyamatok és kölcsönhatások korrekt leírása miatt az ok-okozati összefüggések pontosabban elemezhetők, mint a statisztikai leskálázás esetén.

Vizsgálataink végső célja a globális klímaváltozás jövőben regionálisan várható hidrológiai hatásainak elemzése, melyhez az éghajlatot – a globális modellekhez képest – egyértelműen részletesebben leíró regionális éghajlati modellfuttatás szükséges. Ennek értelmében a klímadinamikai leskálázást alkalmaztuk, s ehhez az ELTE Meteorológiai Tanszéken a Kárpát-medence térségére adaptált RCM-et, a RegCM modellt választottuk. A RegCM egy korlátos tartományú hidrosztatikus közelítést tartalmazó éghajlati modell, melyet eredetileg az amerikai Légkörkutató Intézetben (NCAR) fejlesztettek ki (*Giorgi és társai 1993a, 1993b*), amely jelenleg a Triesztben működő Nemzetközi Elméleti Fizikai Központ (ICTP) közvetítésével hozzáférhető kutatási célokra. A RegCM4.3 modellverzió (*Elguindi és társai 2011*) a korábbiakhoz képest új felszíni,

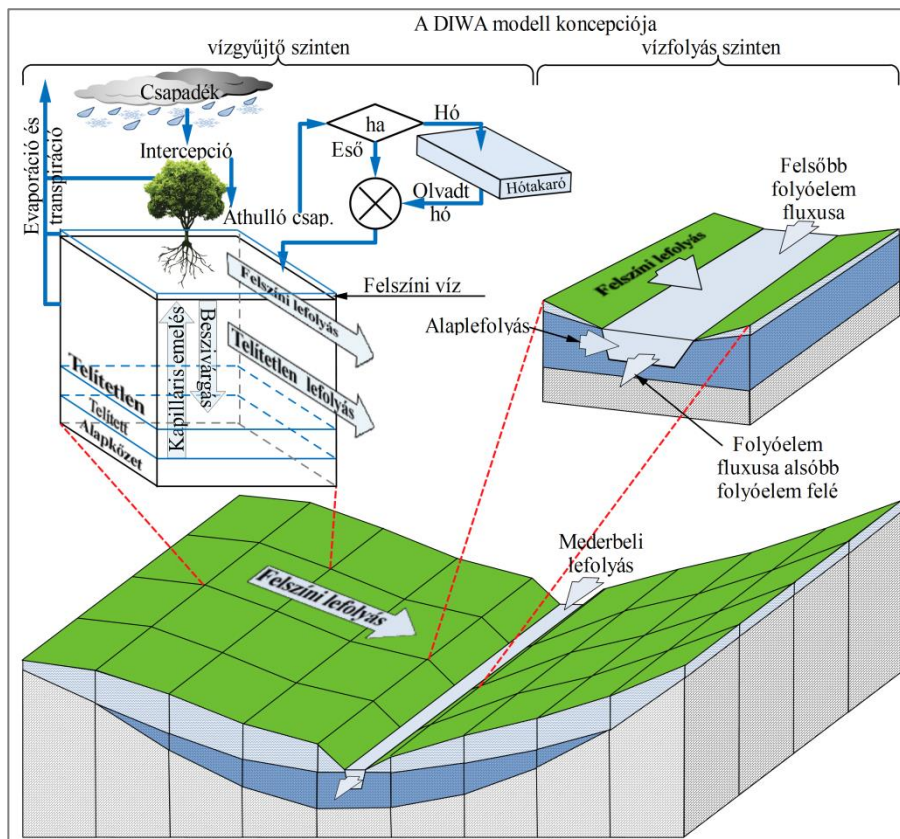
planetáris határréteg és légkör-tengerfelszín fluxus sémákat tartalmaz, továbbá az eddigi sugárzás-átviteli és határréteg sémák is módosításra kerültek. A konvektív folyamatok és az ebből származó csapadék kezelésére a modellben többféle konvektív séma is megtalálható, melyek közül *Pieczka és társai (2017)* érzékenységvizsgálat keretében meghatározták a Kárpát-medencére legpontosabb becsléseket eredményező opciót. A jelenlegi modellverzió már párhuzamos futtatásra is alkalmas, ami lényeges tulajdonság a futtatások minél rövidebb gépidő alatt történő kivitelezéséhez.

A Kárpát-medence térségére fókuszáló modellfuttatásokhoz első lépésként 50 km-es horizontális felbontással készült modellszimulációkat kellett előállítani, melyeket közvetlenül a GCM szimulációk output-mezői hajtanak meg. Ez a viszonylag durvább rácsfelbontás hazánk mérete miatt még nem alkalmas arra, hogy éghajlatváltozási hatástanulmányokat alapozzon meg, azonban megfelelő peremfeltételeket szolgáltat a további dinamikus alapú leskálázáshoz. Az 50 km-es felbontásban előálló eredményeket tehát egy finomabb, 10 km-es felbontású szimulációk készítéséhez használtuk fel a múltira és a jövőre (*Pieczka és társai 2018*), amelyek már megfelelő alapot szolgáltatnak további hatástanulmányok, adaptációs vizsgálatok készítéséhez.

A DIWA hidrológiai modell vázlatja

Koncepcióinkban az egyes meteorológiai idősorok hidrológiai válaszainak modellezésére a fizikai alapú,

térben és paramétereiben is osztott DIWA hidrológiai modellt (*Szabó 2007*) használtuk. A modell alkalmazását az indokolja, hogy egyfelől a vízgyűjtő minden lényeges karakterisztikáját – domborzat, felszínborítottság, talaj, részlet-gazdag vízhálózat stb. – annak területi megoszlásában tekinti, továbbá figyelembe veszi a hidrológiai folyamatok minden lényeges részfolyamatát (2. ábra). Ide sorolhatjuk a csapadékot – amit a hőmérséklet függvényében hóként, illetve esőként elkülönítve kezel a modell –, az intercepciót, az evaporációt és a transpirációt, a beszivárgást és a kapilláris emelkedést, a hófelhalmozódást és a hóolvadást, a talajfagyot, valamint a felszíni, felszín alatti és a mederbeli lefolyást is. A DIWA geoinformatikai adatbázisa egyenlő területű vetületi rendszerben (LAEA: Lambert Azimuthal Equal-Area projection) négyzetrács-felbontásban tartalmazza a modellezésbe bevonandó adatokat, paramétereiket. A szimuláció során több tényezőt is állandónak tekint a modell, ilyen például a domborzat, a felszínborítottság, a talajtípusok és a talajrétegek. Az intercepció és a transpiráció becslésének szempontjából különösen meghatározó tényező a vegetáció aktuális sűrűségi állapota, ezért az NDVI (Normalizált Differenciális Vegetációs Index), illetve LAI (levél-felületi index) havi átlagainak területi eloszlásait is tároljuk és figyelembe vesszük a modellezés során. Mindezek mellett a modellbe beépül még a napi potenciális szoláris energia, annak 10 napos mozgóátlag-értékeinek formájában.



2. ábra. A DIWA hidrológiai modell sematikus ábrája (Kis és társai 2016)
Figure 2. Schematic figure of the DIWA hydrological model (Kis et al. 2016)

Az alábbiakban röviden összefoglaljuk a DIWA modellt alkotó egyenleteket (a DIWA modell-egyenletrendszerét). Fontos kiemelni, és a figyelmet előre felhívni arra, hogy a DIWA-ban a gridekre osztott vízgyűjtő minden egyes cellájának (gridjének) a tározás – és így az egyenletrendszer alakulásának – szempontjából négy fundamentális rétege van (2. ábra): a felszínborítottság (növények, épületek stb.), a felszín, a talaj és a felszíni vízhálózat. A modell egyenletrendszerét tehát ezen – térben osztott – elemek rendszerére vonatkozó anyagmegmaradási és dinamikai egyenletek összessége alkotja. Az anyagmegmaradás általános, minden tározótípusra és (i,j) cellára érvényesített formája:

$$\frac{dV_t^{i,j}}{dt} = \sum q_{in}^{i,j} - q_{out}^{i,j} \quad (1)$$

ahol: V_t – tározás az (i,j) cella valamely fundamentális rétegére (m^3)
 $\sum q_{in}$ – az (i,j) cellába beérkező összegzett fluxus (m^3/s)
 q_{out} – az (i,j) elemet elhagyó egyetlen fluxus (m^3/s)

A továbbiakban tehát ezt az egyenletet nem ismétljük, de minden dinamikai egyenlet mellé értelmezzük, mint a modell-egyenletrendszer szerves komponensét.

Csapadék halmazállapota, hóolvadás, talajfagy modellkomponens

Csapadék halmazállapota: A modellben az „eső vagy hó” kérdését minden cella esetében a cellára vonatkozó napi közepes léghőmérséklet (T_{mean} [°C]) és az úgynevezett kritikus léghőmérséklet pillanatnyi relációin keresztül értékeljük ki, vagyis, ha a

$$T_{mean} < T_{crit},$$

akkor az észlelt csapadékot hónak, ellenkező esetben esőnek tekintjük. Tapasztalatokra támaszkodva a DIWA modellben a T_{crit} értékéről feltesszük, hogy az a terepmagasság megváltozásának lineáris függvényében enyhén növekszik, amely növekedés kalibrációs paraméter, és amely értéke 0 és 1,5 fok között változik.

Hóolvadás: A hó olvadásának modellezését (Szabó 2007) – apróbb kiegészítésekkel (lásd a (2) formulák közül a másodikat, amely figyelembe veszi az eső esetét) – az egyik legismertebb eljárás, az úgynevezett „fok-nap módszer” (DDM: Degree-Day Method) alapján számoljuk (Martinec 1960; Martinec és Rango 1986). Az olvadás megkezdésének feltételül a fent ismertetett T_{crit} értéket használjuk. A DDM ismertetéséhez jelölje

$$\Delta T_{crit} = T_{mean} - T_{crit}$$

azt a léghőmérsékleti differenciát, amennyivel a napi középhőmérséklet meghaladja a kritikus léghőmérsékletet. Vezessünk be egy „a” együtthatót (a [$mm \cdot ^\circ C^{-1} \cdot d^{-1}$]), az úgynevezett „fok-naptényezőt” (DDF: degree-day factor) amely megadja, hogy egy nap alatt minden T_{crit} értéket meghaladó fok hány mm hó elolvadását képes előidézni. Eszerint:

$$M = a \cdot \Delta T_{crit}, \text{ eső esetén pedig: } M = a \cdot (1 + 0,01 \cdot R_{\Delta}) \cdot \Delta T_{crit} \quad (2)$$

ahol M a hó olvadásából származó vízoszlop magassága, R_{Δ} pedig a számítási időlépés alatt eső formájában lehullott vízoszlop magassága (mm). További fizikai megfontolások alapján a DIWA modellben feltesszük, hogy az „a” értéke a hóban tárolt vízkészlet pillanatnyi értékétől függ, utalva arra a többletenergiára, amely a több hó elolvadásához szükséges. Eszerint feltesszük, hogy az „a” értéke a hóban tárolt vízkészlet növekedésével lineárisan csökken.

Talajfagy: Midőn a talaj fagyottá kezd válni, avagy már fagyottá vált, a hidraulikai folyamatok jelentősen (nagyságrendekkel) lelassulnak, majd a teljesen átfagyott talajban megállnak. A nemzetközi szakirodalom alapján a talaj fagyottságának becslését az úgynevezett talajfagy indexen keresztül szokás jellemezni. Mi Molnau és Bissell (1983) vagy Follum és társai (2018) egyenleteit vesszük figyelembe, amely a fagy index (F [$^\circ C \cdot nap^{-1}$]) megváltozását az alábbiak szerint adja meg:

$$\frac{dF}{dt} = -(1 - A_f) \cdot F - T_{mean} \cdot e^{\left(\frac{-0,04 \cdot K \cdot d_s}{w_{es}}\right)} \quad (3)$$

Itt dF/dt ($^\circ C \cdot nap^{-1} \cdot nap^{-1}$), A_f (nap^{-1}) lebomlási együttható (a DIWA-ban $A_f = 0,97$), K (cm^{-1}) „hó- vastagság-redukciós” együttható (a DIWA-ban $K = 0,57$), d_s (mm) a hóban tárolt vízmennyiség vízoszlopban kifejezve, és $w_{es} = 0,1$, feltéve, hogy az átlagos hó sűrűség 100 kg/m^3 . A talaj fagyottnak tekinthető, ha a talajfagy index az 56-os kritikus értéket is meghaladja. Megjegyzés: $F \geq 0$.

Intercepció modellkomponens

A DIWA modellben a csapadékot két részre: állományi és növényi csapadékra bontjuk. Az állományi az, amelyet a növény már nem képes felfogni, áthullik rajta, a növényi pedig az, amelyet intercepció formájában felvesz, tároz. A modellben feltételezzük, hogy a növényzet felülete egyfajta véges kapacitású ($S_{I,max}$) lineáris tározó, vagyis a dinamikai egyenlete matematikailag:

$$QP_{th,\Delta t} = QP_{\Delta t} - \sigma \cdot \left(1 - \frac{S_{I,t}}{S_{I,max,\Delta t}}\right) \cdot QP_{\Delta t} \quad (4)$$

ahol $S_{I,t}$ (mm) a növényzeten a Δt kezdetén tározott vízmennyiség, $QP_{\Delta t}$ (mm/ Δt) a csapadékintenzitás, $QP_{th,\Delta t}$ (mm/ Δt) az állományi-csapadék intenzitása, σ az adott száraz állapotú növény csapadékviszataratása (-) (értéke kb. 0,05). Az $S_{I,max,\Delta t}$ értéke a vegetáció típusától és annak szezonálisan változó sűrűségétől függő állandó, amit empirikusan becsülhetünk (von Hoyningen-Huene 1981):

$$S_{I,max,\Delta t} = (0,935 + 0,498 \cdot LAI_{\Delta t} - 0,00575 \cdot (LAI_{\Delta t})^2) \cdot h_{max}$$

ahol h_{max} (mm) a legnagyobb tározási vízoszlop az adott növényzeten – melynek átlagos értéke és szórása növénykategóriánként elérhető a nemzetközi szakirodalomból (pl. Link és társai 2004, Attarod és társai 2014) és azok a modell futtatásához táblázatba gyűjthetők –, $LAI_{\Delta t}$ (m^2/m^2) a cellára jellemző szezonális vegetáció-sűrűségi állapot az adott időszakban.

Az evapotranspiráció modellkomponens

A DIWA az evapotranspiráció dinamikus állapot-egyenleteinek kiindulási alapjául Varga-Haszonits (1969) mérésekkel is igazolt párolgási összefüggései

szolgáltak (Szabó 2007). Az egyesített módszer lényege, hogy elsőként a korlátlan vízellátottság melletti párolgást (szabad vízfelszín párolgása) tekinti, majd a talajban rendelkezésre álló, hozzáférhető víz állapotával

$$E_{a,t} = f(VDRS_t) \cdot LAI_{\Delta t} \cdot \left[\frac{1 - RN_{\Delta t}}{2 - RN_{\Delta t}} \cdot T_{\Delta t} \right] \cdot \frac{\Delta t}{86400} \quad (5)$$

ahol $E_{a,t}$ az adott t -beli tényleges transpiráció (mm) ($t \in \Delta t$), $RN_{\Delta t}$ a relatív nedvesség Δt -re vonatkozó középértéke (század), $T_{\Delta t}$ a középhőmérséklet Δt -ben ($^{\circ}\text{C}$) (és $T_{\Delta t} < 1$

$$VDRS_t = \begin{cases} \frac{\theta_t - \theta_{R,WP}}{\theta_s - \theta_{R,WP}} & (\theta_t \geq \theta_{R,WP}) \\ 0 & (\theta_t < \theta_{R,WP}) \end{cases}, \quad \theta_{R,WP} = \max\{\theta_R, \theta_{WP}\},$$

ahol θ_t (m^3/m^3) az aktuális víztelítettség ($t \in \Delta t$), θ_R (m^3/m^3) a maradék víztelítettség, θ_{WP} (m^3/m^3) a vegetáció típusától is függő, hervadási ponti víztelítettség, és θ_s [m^3/m^3] a telített víztelítettség (Szabó 2007).

korlátozzuk a növény tényleges vízfelvételét. Lényeges, hogy a módszert a műholdas mérések alapján gridenként is becsülhető LAI-ra vezetjük vissza. Matematikailag:

esetén $T_{\Delta t} := 1 + T_{\Delta t}/273$, $f(VDRS_t)$ a vegetáció és a talaj típusától függő dimenziómentes, időben változó redukciós faktor ($0 \leq f(VDRS_t) \leq 1$, és $t \in \Delta t$), melynek argumentuma:

$$f(VDRS_t) := \begin{cases} 1 - \frac{pF(VDRS_t) \cdot [\theta_s - \theta_{R,WP}] + \theta_{R,WP}}{pF(\theta_{R,WP})} & (\theta_t \geq \theta_{R,WP}) \\ 0 & (\theta_t < \theta_{R,WP}) \end{cases}$$

A beszivárgás és a telítetlen talajzóna modellkomponens

A telítetlen talajban a víz mozgását a Darcy áramlási modell alapján tudjuk leírni (Szabó 2007), ami két alapegyenletből (az (1) folytonossági, és a (6) egyenletrendszer első, a dinamikai egyenletekből), továbbá két karakterisztikus jelleggörbe-egyenletből (a pF- és a belőle konstruálható relatív vezetőképességi görbékből) áll:

$$\left. \begin{aligned} q_t &= -k(S_{W,\Delta t}) \cdot A_{d\psi}(S_{W,\Delta t}) \cdot \left(\frac{d\psi_{\Delta t}}{dh} + \sin\alpha \right) \\ \psi_{\Delta t} &= \Psi(S_{W,\Delta t}) \\ k(S_{W,\Delta t}) &= k \cdot k_r(S_{W,\Delta t}) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ahol q_t a fluxus (m^3/s) ($t \in \Delta t$), $S_{W,\Delta t}$ a víztelítettség állapota Δt -ben (-), $k(S_{W,\Delta t})$ a telítetlen hidraulikus vezetőképesség állapota Δt -ben (m/s), k a telített hidraulikus vezetőképesség (m/s), $k_r(S_{W,\Delta t})$ a relatív vezetőképesség a Δt -beli állapotokra vonatkozóan (-), $d\psi_{\Delta t}/dh$ a tenziógradiens Δt -ben (-), α az áramlás irányának a vízszintessel bezárt szöge, $A_{d\psi}(S_{W,\Delta t})$ a tenziókülönbség által meghatározott áramlási irányra eső felületelem területe Δt -ben (m^2). Itt az $S_{W,\Delta t}$ -től való függéssel arra szeretünk volna utalni, hogy a transzportban ténylegesen résztvevő felület nagysága értelemszerűen függ a telítettségtől, hiszen eleve a valóságos (látszólagos) A méretű felület helyett még telített állapot mellett is csupán az $A \cdot \Phi$ vesz részt a víz szállításában (itt Φ a porozitás), míg telítetlen esetben az adott Δt -ben ez $A \cdot \Phi \cdot S_{W,\Delta t}$.

A fenti (6) és (1) egyenletekből álló rendszer tehát a teljes Darcy modell. Szokásos még, hogy a $\Psi(S_W)$, és a $k_r(S_W)$ pontfüggvényeket valamilyen paraméterezett görbecsalád optimalizált görbéjével közelítik (van Genuchten és társai 1999).

Az $f(VDRS_t)$ redukciós faktor tehát láthatóan függvénye a talaj pillanatnyi víztelítettségének, θ_t -nek, amely függvényt a DIWA modellben a grid gyökérzónájára vonatkozó talajtípus úgynevezett pF-görbéjével (amely leírja a víznek a talajhoz való kötődését, lásd Stefanovits 1992) azonosítunk:

A felszíni és a mederbeli lefolyás modellkomponens

A vízgyűjtő felszínét az idő egysége alatt elérő víz (eső + olvadt hó) egy része a (6) és az (1) egyenletrendszer szerint beszivárog a talajba, egy másik része a szabad vízfelszín párolgásának értékével (E_0) elpárolog, a többi része pedig elsődlegesen a felszínen, majd onnan a mederbe jutva lefolyik, összegyülekezik a vízgyűjtő vízfolyáshálózatán. A felszíni és a mederbeli lefolyás folyamatát a DIWA-ban az (1) folytonossági, és az alábbi (7), dinamikai egyenletek alkotja, úgynevezett lineáris tározómodellel írjuk le. Az (1) folytonossági egyenletet mindkét (ti. a felszíni és a mederbeli) esetben a folyamatához specifikusan kell értelmezni. Vagyis, az (1)-béli Σq_{in} szimbólum mint a cellába beérkező összegzett fluxust (m^3/s) más komponensek alkotják a felszíni, és más a mederbeli folyamatok során, amelyet nagyon jól szemléltet a 2. ábra. A lineáris tározómodell dinamikai egyenlete a DIWA-ban tehát:

$$q_{out}^{i,j} = \frac{1}{\tau^{i,j}} \cdot V_t^{i,j} \quad (7)$$

ahol q_{out} szimbolizálja az (i,j) felszíni/vízfolyás elemből tovább folyó víz fluxusát (m^3/s), V_t a tározás a felületelem/folyószakaszon (m^3), és τ jelenti az elem áthaladó víznek a tározóelemre jellemző „átlagos” tartózkodási idejét (s). A τ értékét a DIWA-ban a Manning féle egyenletből kiindulva határozzuk meg az alábbi egyenletből:

$$\tau^{i,j} = \frac{L^{i,j}}{v_m^{i,j}} = \frac{L^{i,j} \cdot n^{i,j}}{(R_m^{i,j})^{2/3} \cdot \sqrt{tg(\beta^{i,j})}} \quad (8)$$

ahol: v_m az elemre jellemző átlagos lefolyási mélységhez tartozó sebesség (m/s), L a cellaelek/folyószakasz hossza (m), n a Manning féle érdességi együttható ($\text{s} \cdot \text{m}^{-1/3}$), amely felszíni esetben műholdas mérések és szakirodalmi táblázatok alapján, mederbeli esetben mérnöki táblázatok alapján ismert érték, R_m a felületelemre/mederszakaszra jel-

lemző átlagos lefolyási mélységhez (felszínen $\approx 0,01$ m, mederben a geometriából számítható) tartozó hidraulikus sugár (m), és β a felületelem/folyómeder vízszintes síkkal bezárt szöge (fok vagy radián).

Numerikus megoldás

A fent vázolt, a vízgyűjtő minden cellájára érvényesített közönséges differenciálegyenletek bonyolult rendszerének kiintegrálása nem egyszerű algoritmikus matematikai feladat. Hasonló egyenletrendszereket a fejlesztők eltérően oldanak meg, vagyis nincs annak általános szabálya. A DIWA-ban a fejlesztő (Szabó 2007) erre a célra egy specifikusan a feladatra tervezett prediktor-korrektor algoritmust alkalmazott, amelynek a kezdeti feltételét (az első prediktor kiinduló értékeit) vagy egy korábban lementett futtatás utolsó korrektorának adatai adják, vagy ennek híján általános kezdeti feltételből kiindulva egy úgynevezett felpörgési időszakra (legalább 2 év) előfutatták a modellt, és annak végén elmentve az utolsó korrektor adatait, már lehet ismételt futtatásokat kezdeményezni ezen időponttól. Ez utóbbit választottuk mi is.

Kiegészítő megjegyzések, tájékoztatások

A fent vázolt modellszámításokon túl, a DIWA modellszámítás további komponensekkel is rendelkezik, de mivel a jelen tanulmányban azok nem kerültek felhasználásra, ezért azokat csak felsorolásjelleggel említjük:

1. A mederbeli lefolyás modellje napjainkra kiegészült egy, a futtatás megkezdése előtt opcionálisan megválasztható hidraulikus modellszámítással is;
2. Tavak, völgyzárógátas tározók üzemirányítását megvalósító részmodell;
3. Vízkormányzást megvalósító modul;
4. Árvízi szükségeltározók optimális üzemrendjét mesterséges intelligencia által vezérelt tervezői modul;
5. 2D-s elárasztási modell-modul;
6. Operatív hidrológiai előrejelző modul, amely teljesen automatikusan képes működni.

A DIWA térben osztott időjárás-generátorának, a DIWA-SDSWG-nek rövid áttekintése

Általánosan, a sztochasztikus időjárás-generátorok olyan számítógépes modellek, amelyeket tetszőleges számú és hosszúságú, azonosan valószínű szintetikus időjárás paraméterek idősorainak szimulálására (generálására) használnak, valamely rövidebb időszak (30-40 év) megfigyeléseinek statisztikai jellemzői alapján „tanítva”. Térbeli kiterjedésüket tekintve lehetnek egy mérőállomáshoz kötötten lokális, vagy területi (pl. vízgyűjtő) jellegűek (lásd például: Bardossy és Plate 1992, Katz és Parlange 1998, Parlange és Katz 2000).

Az SDSWG-k gyakori felhasználási területe a klímaváltozáshoz kapcsolódó hatástanulmányok. A vízgazdálkodási, környezeti, ökológiai, avagy mezőgazdasági hatástanulmányok során visszatérően felmerülő kérdés, vajon a meteorológiai változók (pl. csapadék, léghőmérséklet stb.) adott statisztikus tulajdonságainak a megváltozásai miként befolyásolják a tőlük szorosan, jellemzően bonyolult, nemlineáris módon függő folyamatok (különösen azok szélsőségei) statisztikáit (pl.: lefolyás, árvíz, vízhiány, aszály stb.).

A DIWA-SDSWG első, azóta továbbfejlesztett változatát 2012-ben a HYDROInform Bt. fejlesztette ki

(HYDROInform 2012). A DIWA-SDSWG jelen verziója képes az éves csapadékösszegek és azok napi ütemének térbeli eloszlásait, a száraz és nedves napok éven belüli sorozatait, a napi minimum és közepes léghőmérséklet (külön a nedves és száraz napokra) térbeli eloszlásait előállítani valamely 30 év tanulási időszak adatai alapján. Ez utóbbi lehet történelmi, vagy akár a jövő adott időszakára modellezett adatsor. A DIWA-SDSWG lépései két fázisra bontva, adott vízgyűjtőre, éves lépésekkel a következők:

I. A skaláris adatgenerálás fázisa:

- 1.) Mindenekelőtt a soron következő év csapadékösszegeinek területi átlagát, mint skaláris adatot becsüljük meg, amelyet a tanuló időszak hasonló adataira illesztett négyparaméteres béta eloszlásból véletlenszerűen generálunk:

$$f(y; \alpha, \beta, a, b) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \cdot \frac{(y-a)^{\alpha-1} \cdot (b-y)^{\beta-1}}{(b-a)^{\alpha+\beta-1}} \quad (9)$$

Itt B a Béta-függvény, α és β az eloszlás paraméterei, a és b pedig az eloszlás maximum és minimum értékeit reprezentáló paraméterek.

- 2.) Ezt követően szintén a tanuló időszak adataira illesztett, szezonálisan paraméterezett gamma eloszlásból (Matyasovszky 2002) generálunk véletlenszerűen száraz napok számainak és nedves napok számainak sorozatát az egész évre:

$$f(x) = \frac{\lambda^\kappa \cdot x^{\kappa-1} \cdot e^{-\lambda x}}{\Gamma(\kappa)} \quad (10)$$

ahol λ és κ optimalizált paraméterei a gamma-eloszlásnak.

- 3.) Majd szintén a tanuló időszak adataira illesztett, szezonálisan paraméterezett gamma eloszlásból (10) generálunk véletlenszerűen minden nedves futamhoz skaláris nedves tartamot, és az így kapott éves nedves tartamok összegét az első lépésben generált éves értékhez arányosítjuk. Ezzel garantáljuk, hogy az éves nedves futamok összegei az 1.) lépésben meghatározott éves csapadék értéke legyen.
- 4.) A napi közép- és minimumhőmérséklet területi átlagait a tanuló időszak adatai alapján, a nedves/száraz futamokra külön-külön paraméterezve feltesszük, hogy a hőmérséklet bármely évben megközelíthető egy szinuszos hullámfüggvényre és egy attól, mint „alapvonaltól” való perturbációval. Itt a perturbációt egy AR(1) sztochasztikus zajmodellel közelítjük, ahol az autoregresszív paramétereket a determinisztikus szinuszos modell hibastatisztikáiból nyerjük.

II. A skaláris adatok területi leképezésének fázisa:

- 5.) A 4.) alatti módon generált napi területi átlaghőmérsékletek területi leképezését a domborzat-hőmérséklet ismert korrelációja adja, amelyet a hőmérsékleti értékek területi átlagos gradienseinek a tanuló időszakára jellemző adatai alapján, a nedves/száraz szakaszokra paraméterezett AR(1) sztochasztikus modellel közelítünk:

$$T_{i,j,t} = \bar{T}_t + \frac{1}{2} g_t - g_t \frac{Z_{i,j} - Z_{min}}{Z_{max} - Z_{min}} \quad (11)$$

ahol: $T_{i,j,t}$ - az (i,j) rácselem keresett közepes/minimum-léghőmérséklete a t . napon;

$Z_{i,j}$ - az (i,j) rácselem középpontjának magassága;
 Z_{min} - a vízgyűjtő legalacsonyabb pontja;
 Z_{max} - a vízgyűjtő legmagasabb pontja;
 \bar{T}_t - a közepes/minimum-lég hőmérséklet területi átlaga a t . napon;
 g_t - a lég hőmérséklet gradiense a t . napon.

- 6.) A 3.) alatti csapadékadatok leskalázása és kitérképezése hasonlósági alapon történt a klimatológiai raszter-adatbázisokból, vagyis a tanuló időszak raszteradatai közül véletlenszerűen kikeresünk azokat az eseteket, amelyek a jelen helyzethez bizonyos mértékig hasonlóak (azonos a nedves napok száma, és a futamcsapadék (lásd a 3.) alatt) adott tūrés mértéken belül (pl. 5%, ami futtatási paraméter) közeli a jelen értékhez). Ezek közül véletlenszerűen kiválasztunk egy megtörtént esetet, és a generált csapadékeseményt ehhez arányosítjuk térben és időben egyaránt.

Hibakorrekció a DIWA-SDSWG időjárás-generátor alkalmazásával

A DIWA hidrológiai modell futtatásához szükség volt a napi átlag- és minimumhőmérséklet, valamint a csapadék rácsponti adataira. Ezeket – mint említettük – a CARPATCLIM adatbázis és a RegCM4 szimulációi biztosították. Ezek azonban mind csak egy-egy konkrét időszorként jelennek meg (a múlt, illetve a jövőre vonatkozóan), amelyek csupán egy lehetséges realizációját jelentik a valóságnak – azaz úgy kell rájuk tekintenünk, mint egy teljes populációból vett egyetlen mintára.

A teljes populáció variabilitását, belső tulajdonságait leíró statisztikai jellemzőinek előállításához lehetséges valamely megfelelő, térben osztott sztochasztikus időjárás-generátor paraméterein keresztül leírás. Esetünkben a HYDROInform Bt. által korábban kifejlesztett DIWA-SDSWG (HYDROInform 2012) továbbfejlesztett változatát alkalmaztuk. A DIWA-SDSWG-vel rendre 100 év hosszúságú szekvenciákat, idősorokat állítottunk elő, amelyhez a hőmérséklet, a száraz és nedves tartamok, valamint a csapadékmennyiség eloszlásának paramétereire volt szükség. A nedves tartamok megállapításánál bevezettünk egy 1 mm-es mennyiségi küszöböt, valamint a területi kiterjedésre vonatkozóan is meghatároztunk egy határértéket (100 km²-es összefüggő terület), hogy egy-egy rácspontban történő, vagy éppen elenyésző mennyiségű csapadék ne módosítsa a száraz/nedves tartamok arányát, illetve hosszát.

A fenti, a DIWA-SDSWG leírás 6.) pontjához tartóan a csapadék napi leskalázásához és kitérképezéséhez a historikus időszakhoz a CARPATCLIM, a jövőbeli időszakhoz a RegCM4 adatbázisokat használtuk.

A RegCM4 szimulációi esetén is fennállt az RCM-ekre általában jellemző szisztematikus hiba, ezért mielőtt a hidrológiai modell bemenetét szolgáltatnánk volna az idősorok, hibakorrekciót végeztünk el. Ehhez a DIWA-SDSWG paramétereit alkalmaztuk, nevezetesen, először külön-külön meghatároztuk a megfigyelési adatbázis (CARPATCLIM)

és a RegCM4 modellszimuláció DIWA-SDSWG eloszlásfüggvényeinek paramétereit a referencia időszakra (1972–2001). Ezt követően pedig a RegCM4-re számított paramétereket a CARPATCLIM-ből meghatározottakhoz illesztettük additív (12), illetve multiplikatív (13) összefüggést használva (Kis és társai 2020):

$$x_{korrigált} = x_{nyers} + (x_{megfigyelt} - x_{nyers}) \quad (12)$$

$$x_{korrigált} = x_{nyers} \cdot \frac{x_{megfigyelt}}{x_{nyers}} \quad (13)$$

A paraméterezést a két jövőbeli időszakra (2021–2050 és 2069–2098) is elvégeztük a RegCM4 szimulációja alapján, azzal a feltételezéssel élve, hogy a paraméterek eltérései megegyeznek a referencia időszakra vonatkozó értékekkel. Így azonos mértékű (arányú) korrekciót alkalmaztunk rajtuk, mint a referencia időszak esetén.

A Monte-Carlo elemzés áttekintése

A fent bemutatott elemzési modellkoncepcióból jól levezethető, hogy az MC ciklusba ágyazott SDSWG és DIWA modellpár többszöri, egymástól független futtatása a kimeneti oldalon előállít annyiszor 100 év hosszú hidrológiai válaszszekvenciát, amennyit csak akarunk, vagy amennyi addig összejön, ameddig a ciklus konvergenciája be nem fejeződik. Mivel a meghajtó meteorológiai adatok esetenként 100 év hosszú szekvenciái azonos valószínűséggel lehetséges realizációi a valóságnak, ezért a hidrológiai válaszokról (esetünkben a lefolyásról a tiszabecsi vízmércénél) is elmondható ugyanez. Ebből pedig következik, hogy a becslés bizonytalanságait az MC alatt kinyert független realizációk statisztikai jellemzői szolgáltatják, míg az általunk keresett eloszlást azok várható értékei. Az MC mintavételezés során minimum 100 ciklust tekintettünk, továbbá definiáltunk egy kilépési kritériumot: akkor tekintettük befejezettnek az algoritmust a k . MC ciklusban, ha a $(k-1)$. lépésig generált független eloszlások paramétereinek átlagának és szórásának megváltozása a k . figyelembevételével nem haladta meg a 10^{-2} értéket. Jelen vizsgálatban ez nagyságrendileg 800-1200 MC ciklust jelentett, azaz ennyiszor 100 év hosszúságú idősor áll rendelkezésünkre, amelyek mind egy-egy lehetséges, azonos valószínűséggel bekövetkező scenáriót jelentenek.

ESETTANULMÁNY A FELSŐ-TISZA VÍZGYŰJTŐJÉRE

Az új szemlélet mentén kidolgozott elemzési koncepciókat egy, a Felső-Tisza vízgyűjtőre elvégzett elemzés példáján keresztül mutatjuk be, amely árvízvédelmi és vízkészlet-gazdálkodás szempontból kiemelten fontos terület. Amint az ismert, a Felső-Tisza vízgyűjtőn a domborzatból és a klimatikus körülményekből adódóan nyáron és tavasszal meglehetősen gyakran lehet árvízzel számolni. Itt a nagyobb árhullámokat általában a hóolvadás vagy egy-egy nagyobb csapadékesemény okozza, sőt, az is előfordulhat, hogy a két hatás összeadódik, mely aztán extrém árvízi eseményhez vezet, erre példa 2001 tavaszának rekord-árvize. Az áradások meglehetősen hevesek, amelyeket alapvetően a főfolyó meredek völgyekből eredő mellékvízfolyásai által lehozott gyors árhullámok interferenciái váltanak ki. Az elmúlt 30 évben több mint 100 árvízi esemény volt a Felső-Tisza vízgyűjtőn. Gyakoriságuk és súlyosságuk folyamatosan növekedett, mely eddigi maximumait 1998-ban, 2001-ben és 2006-ban érte el (Szabó 2007, Laczi 2021). Ennél, valamint a klímaváltozásnak a klíma-

tikus variabilitásra gyakorolt hatásainál fogva a jövőben várható vízkészletek, és azok szélsőségeinek alakulása iránt az érdeklődés érthető módon meglehetősen nagy a Felső-Tiszán. Az első átfogó, tudományosan is megalapozott klimatikus hatáselemzést a terület vízügyi felelőse, a FETIVIZIG kezdeményezte 2012-ben. Akkor a Svájci Alap finanszírozásának köszönhetően vizsgáltuk – többek között – a klímaváltozásnak az árvízi felszínigörbékre gyakorolt hatását (*HYDROInform 2012*), amelynek eredményeit nemzetközi szinten *Pongrácz és társai (2013)* foglalták össze. Az akkori elemzések megismétlését napjainkra több tényező is indokolta:

- 1) az azóta eltelt évek során a CO₂ kibocsátás tényleges és jövőre becsült mennyiségeinek pontosabbá válása;
- 2) a korábbihoz képest tovább gondolt DIWA-SDSWG időjárás-generátor képességeinek fejlődése;
- 3) az elemzések céljának kiterjesztési igénye, vagyis, hogy ne csupán specifikusan az árvízre, hanem a lefolyásra általánosságban, és azok szélsőségeire is koncentráljunk.

Mindezekon túl, a korábbi elemzésekhez képest jelen kutatás nagyobb hangsúlyt fektet az RCM szimuláció hibakorrekciós módszerének megválasztására; célunk volt, hogy ne csak az éghajlati normálértékeket legyenek képesek megfelelően reprezentálni a korrigált klímamodell-outputok, hanem a hidrológiai szimuláció eredménye is megfelelően reprodukálja a referenciaként alkalmazott adatsor statisztikai tulajdonságait.

Céljaink elérésének kulcsa a DIWA-SDSWG felhasználásával (MC elemzésbe ágyazott szimuláció által) tetszőleges hosszúságú (100 év) és számú, azonosan valószínű alternatív meteorológiai valóság – mint peremfeltétel a DIWA hidrológiai modell bemenetén – generálása, mely által képesek vagyunk előállítani bármely (jelenlegi vagy megváltozott) klimatikus variabilitáshoz tartozó hidrológiai válasz-variabilitást, amely aztán az adott vízgyűjtőre jellemző. A megközelítésből jól látható, hogy a korábbi gondolkozástól merőben eltérően itt nem a klímamodell egyedi kimenetével hajtunk meg egy hidrológiai rendszert és számolunk belőle hidrológiai jövőt, hanem a sztochasztikus időjárás-generátor révén annyi, azonosan valószínű alternatív valóságot vagyunk képesek figyelembe venni, amennyi egy korrekt MC elemzés konvergenciakritériumát kielégíti. Ezáltal mondhatjuk, hogy a hidrológiai projekciónk a területre becsült klimatikus variabilitás figyelembevételével megadja annak hidrológiai variabilitását is. A korábbi szemlélethez képest ez az eredmény lényeges különbséget jelent a döntéshozatal számára, mivel ezáltal nem csupán egy skaláris küszöbértékkel szolgálhatunk az adaptációs stratégiákat kidolgozó szakemberek számára, hanem a különböző küszöbök meghaladási gyakoriságának valószínűségével is, ami lényeges minőségi, és egyben gyakorlati különbség. Az esettanulmány végső célja tehát, hogy a célterületre (Felső-Tisza) vonatkozó klimatikus variabilitások trendjét levetítsük a hidrológiai variabilitások

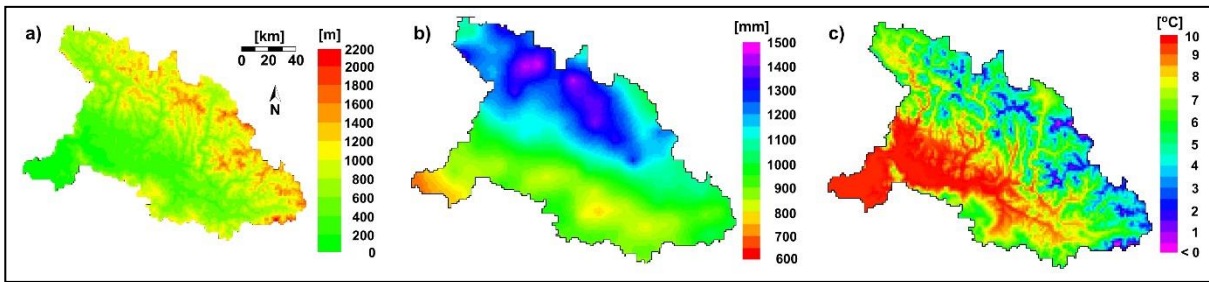
trendjére, ezzel segítve a döntéshozók megfelelő hosszútávú stratégia-tervnek kialakítását.

A célterület jellemzése

A Felső-Tisza vízgyűjtő területe 9 707 km². A térség változatos domborzattal rendelkezik: a vizsgált régió 30%-a 1 000 m-nél magasabban fekszik (legmagasabb csúcsa a Radnai-havasokban lévő Nagy-Pietrosz: 2 303 m), de előfordulnak 400 m alatti síkságok is a délnyugati területeken. Összességében véve a teljes vízgyűjtő átlagos magassága 800–900 m. Mivel a hegyoldalak igen meredek, a hegyi patakok nagyvesésűek (80–200 m/km) ezért gyorsan eléri a befogadó vízfolyásaikat (*Andó 2002*). A Felső-Tisza vízgyűjtő talajtípusa jelentős részben homokos vályog, mely a nagyobb homokszemcsék mellett finomabb szemcseméretű összetevőket is tartalmaz, így valamelyest képes tápanyag-raktározásra, ám víztartóképesége meglehetősen gyenge. A terület délkeleti régióiban homok, agyagos vályog, vályog és agyag is megtalálható kisebb területen. A vízgyűjtőt alapvetően lombhullató, a felső régiókban többnyire tűlevelű erdők borítják, de előfordulnak legelők, egyes használatú mezőgazdasági területek, illetve természetes gyepek is (*Kis és társai 2017*).

A 3. ábrán a Felső-Tisza vízgyűjtő domborzata, továbbá átlagos középhőmérsékletének és csapadékmennyiségének térbeli eloszlása látható a CARPATCLIM (*Spinoni és társai 2015*) adatai alapján, az 1972–2001 időszakra vonatkozóan. Ez alapján is mondható, hogy a teljes vízgyűjtőt tekintve az évi átlagos középhőmérséklet 6,1 °C, melynek szórása nem haladja meg a 0,7 °C-ot. A vizsgált időszakban a legmelegebb év 1994, a leghidegebb 1980 volt, rendre 7,5 °C és 5,0 °C értékekkel. A hőmérséklet maximumai jellemzően nyáron, minimumai télen jelentkeznek; a legmelegebb hónap a július (átlagosan 15,8 °C), a leghidegebb a január (átlagosan -4,4 °C). A csapadékot tekintve az évi átlagos összeg 1075 mm a Felső-Tisza vízgyűjtőn, de az egyes évek között természetesen lehetnek nagyobb eltérések is. A vizsgált időszakban két kiemelkedően csapadékos év fordult elő (1998 és 2001 1400 mm-t meghaladó évi összeggel), az átlagnál jelentősen szárazabb viszonyok pedig egy évben, 1990-ben jelentkeztek (900 mm alatti csapadékösszeggel). A legcsapadékosabb hónap június és július (~130 mm/hó), a legszárazabb február (54 mm/hó) – a Magyarországon jellemző éven belüli eloszláshoz hasonlóan.

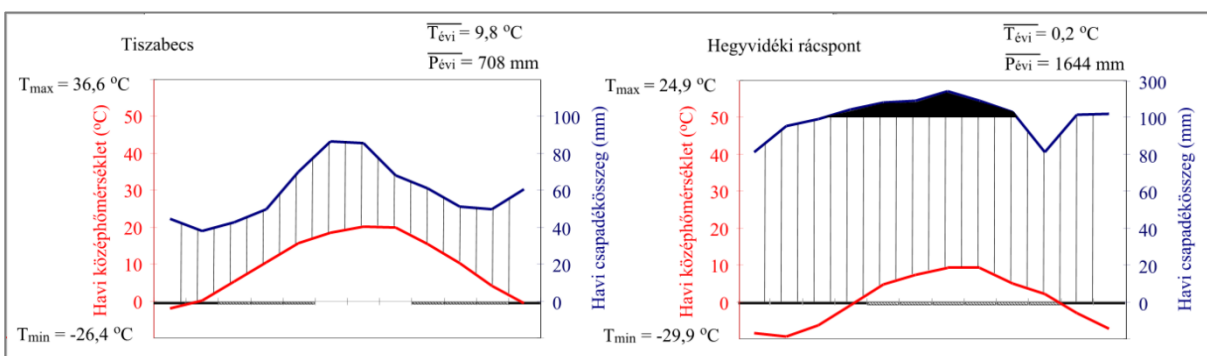
A térképekről (3. ábra) könnyedén leolvasható, hogy a vízgyűjtő éghajlatára – várakozásainknak megfelelően – jelentős hatással van a domborzat, vagyis a nagyobb tengerszint feletti magassággal rendelkező területek hűvösebbek és nedvesebbek a síkvidéki régióknál. A Felső-Tisza-vidék keleti, északkeleti felén (jellemzően 1000 m feletti magasságokban) 3–6 °C az évi átlaghőmérséklet, az éves átlagos csapadékösszeg pedig meghaladja az 1200 mm-t. Ezzel szemben a 600 m alatt fekvő nyugati, délnyugati területeken az évi átlaghőmérséklet 8–10 °C-ra emelkedik, az évi átlagos csapadékösszeg pedig 900 mm alá csökken.



3. ábra. A Felső-Tisza-vidék domborzata (a), évi közepes csapadékmennyisége (b) és átlagos éves középhőmérséklete (c)
Figure 3. Topography (a), annual mean precipitation sum (b) and annual mean temperature (c) in the Upper-Tisza catchment

A 4. ábrán a Felső-Tisza vízgyűjtő két állomásának (Tiszabecshez közeli síkvidéki rácspont: é. sz. 48,1°; k. h. 22,8°; hegyvidéki rácspont: é. sz. 48,6°; k. h. 23,9°) Walter-Lieth jellegű klímadiagramja (Walter és Lieth 1960) látható, amely a CARPATCLIM 1972-2001 időszakra vonatkozó adatai alapján készült. Ezek a diagramok is alátámasztják, hogy a terület éghajlata alapvetően hűvös és nedves, de a domborzat igen jelentős hatást gyakorol a klimatikus viszonyokra, ezért a vízgyűjtőn belüli egyes régiók közötti különbség meglehetősen nagy. A középhőmérséklet évi menete mindkét rácspont esetén hasonló a teljes vízgyűjtőn jellemző eloszláshoz, nyári maximumokkal és téli minimumokkal. A leghidegebb hónap a síkvidéki rácspontban január (-1,9 °C), a hegyvidéki pontban február (-9,3 °C). A legmelegebb hónap mindkét esetben július (rendre 20,3 °C és 9,2 °C). A vizsgált időszak abszolút minimumhőmérsékletei között nem olyan markáns a különbség (síkvidék: -26,4 °C; hegyvidék: -29,9 °C), ám az abszolút maximumhőmérséklet esetén már jelentős, 10 °C-ot meghaladó eltérés mutatkozik (36,6 °C és

24,9 °C). Az abszolút hőingás mindkét esetben meglehetősen nagy. Összességében tehát a síkvidéki rácsponton magasabb a hőmérséklet (évi átlag 9,8 °C); a havi átlagérték három hónapban esik 0 °C alá, bár fagyveszélyes időszak a nyári hónapok kivételével bármikor előfordulhat. A kiválasztott magasabb tengerszint feletti rácspontban az éves átlaghőmérséklet csupán 0,2 °C és a novembertől márciusig tartó időszakban a minimumhőmérsékletek átlaga fagypont alatti (fagyveszély pedig az év bármely hónapjában felléphet). A csapadék a hegyvidéki rácspont esetén egyértelműen magasabb, vízellátottság szempontjából több hónap is a szuperhumid kategóriába esik (> 100 mm/hó). A csapadék éven belüli eloszlása a Tiszabecshez közeli rácspontban jellegzetes évi menetet mutat, nyári maximumokkal (~85 mm/hó) és tél végi, kora tavaszi minimumokkal (~40 mm/hó). A hegyvidéki rácspont esetén kiegyenlítettebb az eloszlás, bár a nyári maximum (akár 240 mm/hó) itt is megjelenik, a minimum (~80 mm/hó) pedig januárban és októberben figyelhető meg.

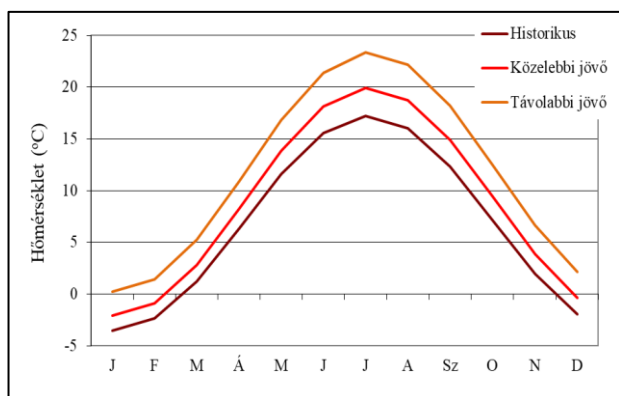


4. ábra. A Felső-Tisza-vidék két kiválasztott rácspontjára (Tiszabecs: é. sz. 48,1°; k. h. 22,8°; hegyvidéki rácspont: é. sz. 48,6°; k. h. 23,9°) vonatkozó Walter-Lieth jellegű klímadiagram. A függőleges vonalak a „humid” időszakot, a feketével jelölt rész a „szuperhumid” időszakot jelöli

Figure 4. Walter-Lieth diagrams for two selected grid points (Tiszabecs: 48.1°N; 22.8°E; mountainous grid point: 48.6°N; 23.9°E) in the Upper-Tisza catchment. Vertical lines indicate “humid” period, the black part of the diagram shows the “superhumid” period

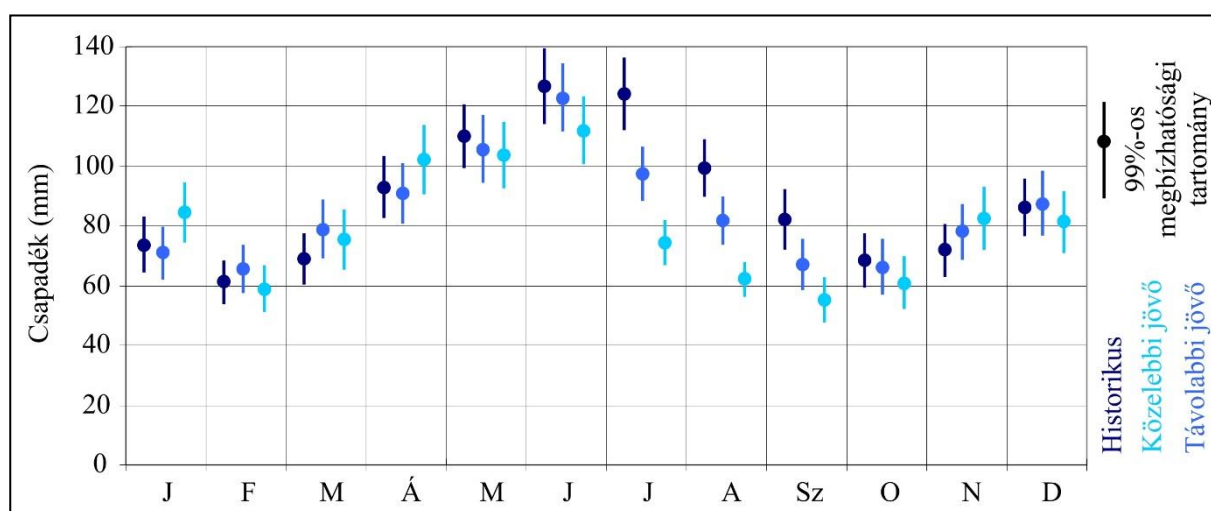
A RegCM4 klímamodell becslései szerint a XXI. században a hőmérséklet emelkedésével számolhatunk a területen (5. ábra). A közelebbi jövőben a májustól októberig terjedő időszakban 2 °C/hó mértékű meghaladó növekedés valószínűsíthető; a legkisebb emelkedés (1,4 °C) januárban várható. A távolabbi jövőre vonatkozó szimuláció minden hónapban jelentős, 4 °C körüli hőmérsékletnövekedést mutat. Ennek következtében a XXI. század végére a sokévi átlagokat tekintve fagymentes lesz a terület még az év leghidegebb hónapjában, januárban is, holott a historikus időszakban

télen jellemzően 0 °C alatti volt az átlaghőmérséklet a vízgyűjtőn. A legmarkánsabb változások (> 5 °C) ez esetben is május és október között várhatók. Júliusban és augusztusban 6 °C-nál is nagyobb lehet a hőmérsékletemelkedés, így a legmelegebb hónapok a korábban jellemző 17 °C-os átlagértékek helyett akár 23 °C-osak is lehetnek majd a XXI. század végére. A hőmérséklet alapvető markáns évi menetét tekintve nem valószínűsíthető változás a jövőben, mivel továbbra is júliusban és januárban jelentkeznek a maximális, illetve a minimális átlagértékek.



5. ábra. A vízgyűjtő területre átlagolt napi középhőmérsékletek sokévi átlagainak alakulása a RegCM4 hibakorrigált szimulációja alapján
 Figure 5. Multi-annual mean of the spatial averages of daily temperature in the catchment based on the bias-corrected RegCM4 simulations

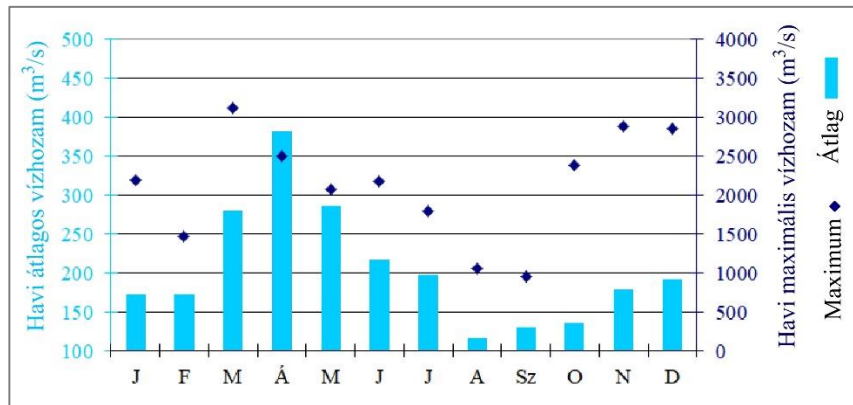
A jövőre vonatkozó RegCM4 szimulációk szerint a legtöbb hónapban kevesebb lesz az átlagos csapadékmennyiség, mint a referencia időszakban volt (6. ábra). Májustól szeptemberig a közelebbi jövőre egy kisebb mértékű, a távolabbi jövőre jelentősebb csökkenés becsülhető. A legnagyobb mértékű szárazodás nyáron valószínűsíthető: júliusban a XXI. század végére akár a -40%-ot is meghaladhatja a várható változás, valamint augusztusban és szeptemberben is 30% feletti a projektált csökkenés. Ugyanakkor januárban, áprilisban és novemberben 10% körüli növekedést becsül a modell a távolabbi jövőre. Összességében tehát elmondható, hogy a XXI. század végére a csapadék éven belüli eloszlása várhatóan kiegyenlítettebb lesz, hiszen a jelenleg legnedvesebb évszakunkban, nyáron csökkenés, míg a napjainkban szárazabb hónapokban a havi csapadék-összeg növekedése valószínűsíthető.



6. ábra. A havi átlagos csapadékösszegek a historikus és a jövőbeli időszakokban a RegCM4 hibakorrigált szimulációja alapján
 Figure 6. Monthly mean precipitation sum in the historical period and in the future time periods based on the bias-corrected RegCM4 simulations

A tiszabecsi szelvényen az átlagos napi vízhozam $212 \text{ m}^3/\text{s}$ volt az 1960-2003 időszak megfigyelései alapján. Maximumát ($3\,940 \text{ m}^3/\text{s}$) 1970 májusában, minimumát ($11 \text{ m}^3/\text{s}$) 1994 augusztusában érte el. Általánosan jellemző, hogy a legmagasabb havi átlagos vízhozamok tavasszal jelentkeznek – $> 280 \text{ m}^3/\text{s}$ az egyes hónapokban; 7. ábra –, amikor a csapadékmennyiség ugyan nem túl magas, azonban a hóban tárolt felhalmozódott vízkészlet lefolyássá alakulása jelentős szerepet játszik ebben az időszakban. A legalacsonyabb átlagértékek augusztus-október között figyelhetők meg – az egyes hónapokban kevesebb mint $140 \text{ m}^3/\text{s}$ az átlagos vízhozam –, amelyet az alacsony csapadékösszegek mellett a fokozott párolgás eredményez. Azt azonban világosan látni kell, hogy a Felső-Tisza maximális vízhozamainak historikus adatait a belépő tiszabecsi szelvényben a va-

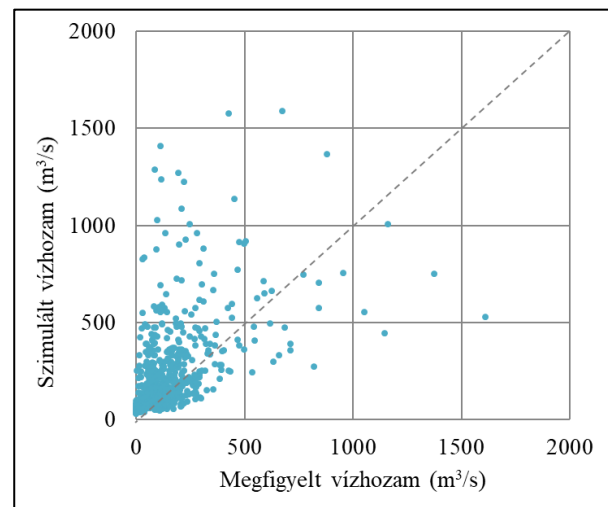
lóságoshoz képest erősen módosítja az a tény, hogy a korábbi évtizedekben a nagyobb árvizek alkalmával az ukrán árvédelmi rendszerek elégtelenségei okán egy-egy extrém árhullám esetén kiöntött a folyó, s ezáltal jelentős mennyiségű víz hagyta el a Tisza és mellékvíz-folyásainak medrét, hullámterét az ukrán területeken. Napjainkra ez a víztöbblet – a 2001-es árvízi eseményeket követően – a megerősített ukrán védelmi rendszer következtében a folyóban maradna és így a jövőben már a teljes, kiöntésmentes árhullámokra lehet majd számítani a magyarországi határszelvényben. Csak példaként említjük a 2001-es tavaszi árhullámot, amikor is mintegy $150\text{--}180$ millió m^3 víz hagyta el a folyót az ukrán folyószakaszokon. Ez napjainkra már nem fordulhat elő, ezért is indokolt időnként az ilyen elemzések megismétlése, aktualizálása.



7. ábra. Havi átlagos és maximum vízhozamok (m^3/s) a tiszabecsi szelvényre vonatkozóan
Figure 7. Monthly mean and maximum water discharge values (m^3/s) in Tiszabecs

Az eredmények értékelése

Az esettanulmány során kapott eredményeink ismeretetésének első lépéseként a DIWA modellnek a célterületre vonatkozó adekvát mivoltát igazoljuk. A hidrológiai modell kalibrációját Tiszabecs állomásra egy két-éves időszakra végeztük el (2000.05.01. - 2002.04.30.), amely során egy jelentős (rekord) árhullám és egy hosszabb kisvízű időszak egyaránt megfigyelhető volt. A CARPATCLIM napi csapadék, minimum- és középhőmérséklet idősoraival meghajtott DIWA modell vízhozam-szimulációit a tiszabecsi szelvényben megfigyelt vízhozam adatokhoz igazítottuk a modell különböző paramétereinek (például a hóolvadás kritikus hőmérséklete, az O-horizont – azaz a talaj legfelső, alapvetően szerves komponensekből álló rétege – és a felszín maximális tározókapacitása) finomhangolásával. A DIWA szimuláció megfelelően reprezentálta a kalibrációs időszakban fellépő csúcsértéket, bár kissé alulbecsülte a megfigyelést (Kis és társai 2017). Ezt az időszakot tekintve a négyzetes eltérés $200 \text{ m}^3/\text{s}$, az átlagos eltérés $12 \text{ m}^3/\text{s}$, a négyzetes korrelációs együttható pedig $0,6$ volt. A 8. ábrán az 2002.05.01. – 2004.04.30. időszakra vonatkozó pontdiagram látható a megfigyelt és a CARPATCLIM-mel meghajtott DIWA szimuláció eredményeként kapott vízhozam értékek alapján, Tiszabecsre vonatkozóan. Megállapíthatjuk, hogy a megfigyelt és a szimulált értékek között nincs szisztematikus eltérés, hiszen az alul- és felülbecslések hasonló mértékben és elemszámban fordulnak elő, továbbá láthatjuk, hogy az egyes pontok viszonylag közel helyezkednek el a tökéletes egyezést reprezentáló szaggatott szürke vonalhoz ($y = x$, normál egyenes). Tehát a hidrológiai modell kalibrációjának eredményeként a validációs időszakban a modell nem mutat szisztematikus hibát; a négyzetes eltérés $212 \text{ m}^3/\text{s}$ -nak, az átlagos eltérés $83 \text{ m}^3/\text{s}$ -nak, a négyzetes korrelációs együttható $0,3$ -nak adódott. Így céljainknak megfelelően megbízhatónak tekinthetjük a hidrológiai modell MC szimulációs alkalmazását és az így kapott eredményeket a Felső-Tisza vízgyűjtőjére.

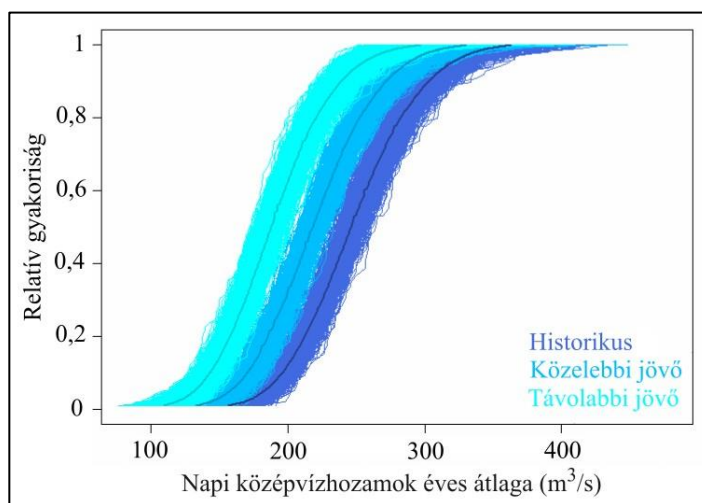


8. ábra. Pontdiagram a megfigyelt és a CARPATCLIM adatbázis adataival végzett DIWA szimuláció eredményeként kapott vízhozam értékek alapján Tiszabecsre vonatkozóan
Figure 8. Scatter-plot diagram of water discharge values based on the observations and the CARPATCLIM-driven DIWA simulations for Tiszabecs

Az MC rendszerbe ágyazott DIWA-SDSWG által generált meteorológiai paramétereinek felhasználásával tetszőleges számú, potenciálisan azonos valószínűséggel bekövetkező, 100 év hosszúságú napi vízhozam idősort állítottunk elő a DIWA felhasználásával három időszakra vonatkozóan: historikus, közelebbi és távolabbi jövő. Az MC algoritmusba ágyazva tehát fix, 100 év hosszúságú sztochasztikusan generált napi meteorológiai idősorokat generáltunk, és ezekkel hajtottuk meg a DIWA hidrológiai modellt. Az MC-szimulációs futtatásaink alapján mondhatjuk, hogy egy meglehetősen szigorú kilépési kritérium eléréséhez – amelyet a módszertani fejezetben részletesen ismertettünk – átlagosan 750 darab független, egyenként 100 év hosszúságú napi adatot generáltunk. Ez átlagosan 75 000 véletlen – de reális – szintetikus előállított hidrológiai év bemenő adatait jelenti. Tekintve, hogy mind a hidrológiai-, mind az időjárás-generátor-modell validációja szisztematikus hibáktól mentes, elemzéseink eredményét adekvátnak tekinthetjük.

Az MC rendszerbe ágyazott DIWA szimulációk alapján meghatároztuk a napi középvízhozamok éves átlagának eloszlását a három vizsgált időszakra vonatkozóan (9. ábra). Eredményeink szerint a napi középvízhozamok éves átlagát tekintve a jövőben annak csökkenésére szá-

míthatunk a vizsgált területen, ami a vízgyűjtőn az éves lefolyás csökkenését jelenti. A Kolmogorov-Szmirnov próba alapján az eloszlásfüggvények eltérése mind a közelebbi, mind a távolabbi jövőben szignifikáns a historikus időszakhoz képest (Kis 2018).



9. ábra. Napi középvízhozamok éves átlagának (m^3/s) eloszlása a historikus, a közelebbi és a távolabbi jövőben (a vékony vonalak az egyes futásokat jelölik, a vastagabb vonalak azok átlagát) (Kis és társai 2018)

Figure 9. Distribution of the annual mean of daily water discharge (m^3/s) in the historical period, in the near and the far future (thin lines indicate the individual simulations, thicker lines show their mean) (Kis et al. 2018)

A középvízhozamok éves változása a XXI. század közepén még kisebb mértékű, sőt egyes szimulációk növekedést mutatnak a historikus időszakhoz képest, azonban a szimulációk átlaga egyértelmű csökkenést jelez. A XXI. század végére még hangsúlyosabb ez a tendencia. Az átlagos relatív változás az 50. percentilis esetén rendre 12%, illetve 24% a közelebbi és a távolabbi jövőre vonatkozóan. Fontos eredmény továbbá, hogy az alacsony vízhozamokhoz tartozó átlagos relatív változás várhatóan nagyobb lesz, mint a magasabb percentilis értékek esetén becsült csökkenés. Az eloszlásfüggvények havi bontásban való vizsgálatakor is elvégeztük a Kolmogorov-Szmirnov próbát, amely alapján júliusban, augusztusban és szeptemberben a közelebbi és a távolabbi jövőre vonatkozóan is szignifikánsak az eltérések a szimulációk átlagát tekintve. Továbbá a XXI. század végén októberben, illetve az áprilistól júniusig tartó időszakban is szignifikánsak a valószínűsíthető változások.

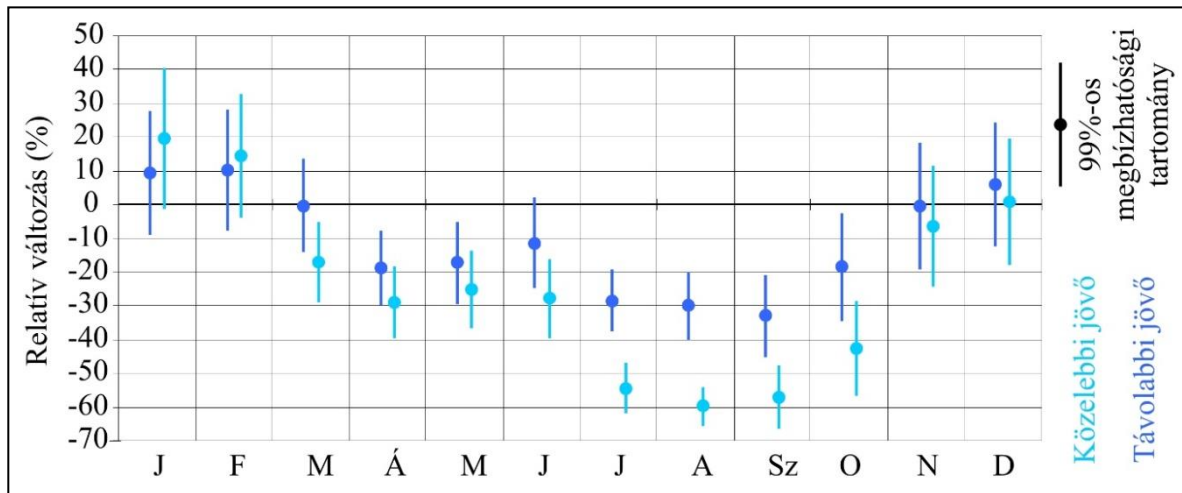
A 10. ábrán a napi középvízhozamok 50. percentilisének relatív változását tüntettük fel a két jövőbeli időszakra vonatkozóan. Mindkét esetben a historikus időszak volt a viszonyítási alap. A relatív változást minden egyes szimulációra külön-külön meghatároztuk és a grafikonon azok átlagát (pöttyök), valamint a 99%-os megbízhatósági tartományt jelenítettük meg. Eredményeink azt mutatják, hogy a változások minden esetben a XXI. század végére lesznek hangsúlyosabbak. Áprilistól októberig a teljes 99%-os megbízhatósági tartományra csökkenés jellemző. Szembetűnő, hogy a legnagyobb változás nyáron valószínűsíthető. A közelebbi jövőben ~30% a becsült csökkenés, de a XXI. század végére augusztusban a 60%-ot is meghaladhatja a változás mértéke, továbbá júliusban és szeptemberben is jelentős a csökkenés (átlagosan rendre 54% és 57%). A többi hónapban is a napi középvízhozamok csök-

kenésére számíthatunk a szimulációk alapján, kivéve januárban és februárban. Ezekben a hónapokban a XXI. század közepére a szimulációk ~90%-a, a XXI. század végére a szimulációk 98%-a szerint valószínűsíthető növekedés, amely az átlagot tekintve 10–20%-os változást jelent. Novemberben és decemberben nem várható jelentős módosulás; a szimulációk átlaga szerint a relatív változás 0% körüli. A napi középvízhozamok elemzése során kapott eredményeink szinkronban vannak a vízgyűjtőre becsült jövőbeli éghajlati viszonyokkal: jól megfigyelhető a nyári csapadékmennyiség csökkenésének, valamint az általános hőmérsékletemelkedésnek a következménye.

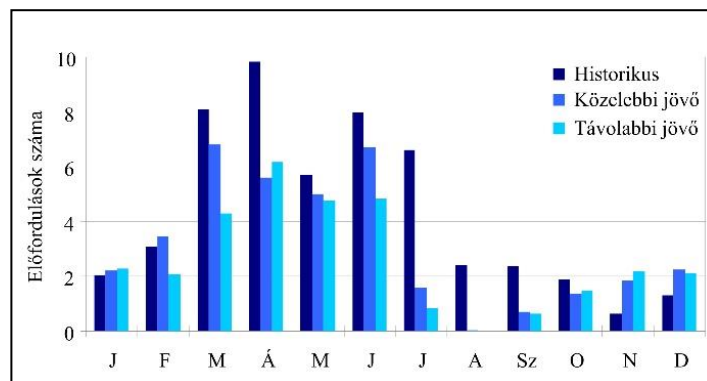
A területre jellemző prioritásokat is figyelembe véve vizsgálatunkban kitértünk a harmadfokú árvízvédelmi készülségi szintet meghaladó esetek számának elemzésére is. Eredményeink szerint a harmadfokot is meghaladó esetek számában éves szinten szignifikáns csökkenés várható: a közeli jövőre -30% körüli, a távoli jövőre -40% körüli a becsült változás. Ez konkrétan azt jelenti, hogy míg a historikus időszakban 100 éven belül átlagosan 52-szer fordult elő harmadfokú árvízvédelmi készülségi szintet meghaladó árhullám, addig a XXI. század közepére ez már csak 38, a XXI. század végére pedig 32 esetet jelent majd a szimulációk szerint. Másként fogalmazva, míg a historikus időszakban a vízállás átlagosan minden második évben meghaladta a harmadfokú árvízvédelmi készülségi szintet, addig a távolabbi jövőben ez átlagosan már csak háromévente fog előfordulni. A harmadfok meghaladásának éven belüli (havi) eloszlását tekintve megállapíthatjuk, hogy a historikus időszakban a márciustól júliusig tartó időszakban volt tapasztalható a legnagyobb gyakoriság (11. ábra). Ekkor 100 évente átlagosan 6–10 ilyen esemény lépett fel az adott hónapban. Az éven belüli eloszlás jellege a jövőben is megmarad, csupán az esetszámok

csökkennek (a legnagyobb gyakorisággal rendelkező hónapokban sem fordul elő 100 évente átlagosan hétnél többször). Ebben az időszakban márciusban és áprilisban várható a legnagyobb csökkenés, hiszen a jövőre becsült általános melegedés következményeként kevesebb lesz a havazás, s így a hóban tárolt vízkészlet is, amely jellemzően ezekben a hónapokban okozhatja áradásokat. November és február között növekedés valószínűsíthető, amely egyértelműen kapcsolatban áll a téli évszakra becsült általános csapadéknövekedéssel. Februárban a XXI. század közepére még mintegy 10%-os növekedés valószínűsíthető a harmadfokú árvízvédelmi készlet szintek meghaladási

számában, az évszázad végére azonban már 30%-ot meghaladó csökkenést jeleznek a szimulációk. A legjelentősebb csökkenés a július és szeptember közötti időszakban valószínűsíthető; eredményeink szerint a jövőben augusztusban egyáltalán nem lesz olyan magas a vízállás, hogy meghaladja a harmadfokú árvízvédelmi készlet szintet. Ebben a nyár végi csökkenő tendenciában az erre az évszakra becsült szárazodás is szerepet játszik: a kevesebb csapadék eredményeként alacsonyabb vízállások lesznek jellemzőek, így ha meg is jelenik egy-egy nagyobb árhullám, azt a korábbiakhoz képest a szokásosnál alacsonyabb mederteltség okán könnyedén el tudja majd vezetni a folyó.



10. ábra. Napi középvízhozamok (m^3/s) 50. percentilisének relatív változása az egyes hónapokban
Figure 10. Relative change of the 50th percentiles of daily water discharge (m^3/s) for each month

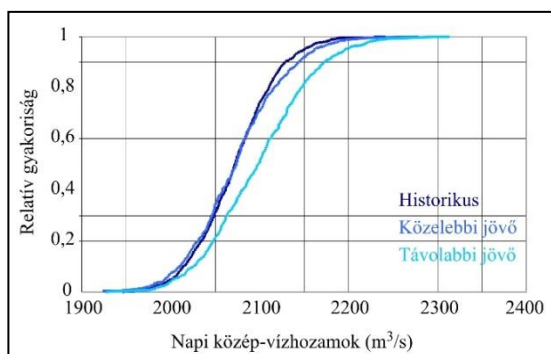


11. ábra. Harmadfokú árvízvédelmi készlet szintet meghaladó esetek átlagos előfordulása 100 éven belül
Figure 11. The average number of cases when the water level exceeds the level-3 flood warning in 100 year

Mindezek mellett meghatároztuk minden időszakra és azon belül minden 100 évre az adott szint feletti napi középvízhozamok átlagát is, és összehasonlítottuk ezek eloszlásait (12. ábra). Eredményeink azt mutatják, hogy a XXI. század végén szignifikánsan nagyobb lesz a harmadfokú árvízvédelmi készlet szintet meghaladó víztömeg egy napra eső átlagértéke. Ez és a fenti megállapítások együttesen azt a konklúziót valószínűsítik, hogy a jövőben ugyan kevesebb árvízi eseménnyel kell majd szembenéznünk, de azok az eddig megszokottaknál súlyosabbak lehetnek.

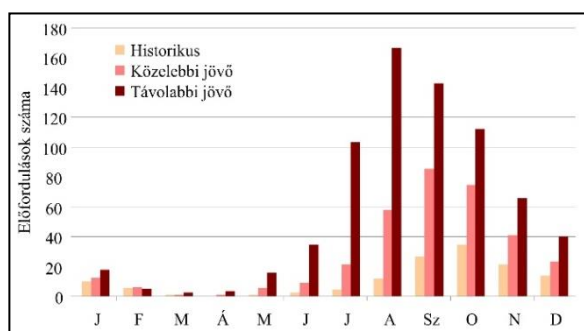
Mivel elemzéseink során az extremitás mindkét irányának várható alakulására kíváncsiak voltunk, a harmadfokú árvízvédelmi készlet szintet meghaladó

esetek száma mellett meghatároztuk a mérceszelvényhez tartozó kritikus alsó szintmeghaladási eseteket is. Ehhez első lépésben meghatároztuk a tiszabecsi szelvény elmúlt 100 év historikus vízhozam adataiból az éves minimumok sokévi átlagát, mint a referencia időszakra jellemző statisztikailag elfogadható alsó korlátot, ami $101 m^3/s$ -nak adódott. Majd mindhárom időszakra meghatároztuk az MC-szimulációk minden 100 évre, hogy hány alkalommal volt a vízhozam havi bontásban ekkora, vagy ennél kisebb, és azt átlagoltuk (13. ábra). Eredményeink egyértelműen azt jelzik, hogy június és szeptember között a kritikus alsó szintmeghaladások szignifikáns növekedése valószínűsíthető, amely a XXI. század végére kifejezetten markáns lesz.



12. ábra. A harmadfokú árvízvédelmi készütségi szint feletti napi középvízhozamok eloszlása (Kis 2018)

Figure 12. Distribution of daily water discharge exceeding the level-3 flood warning (Kis 2018)



13. ábra. Kritikus kisvízhozamok alsó szintmegaladási esetek számának havi alakulása

Figure 13. Number of cases under the critical low water discharges level in each month

ÖSSZEGZÉS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

Kutatásunkban az éghajlatváltozás hidrológiai hatását elemeztük a Felső-Tisza vízgyűjtő példáján keresztül. A téma aktualitását indokolja, hogy a megváltozott klimatikus viszonyok okozta esetleges károk mérséklésének érdekében adaptációs stratégiákat szükséges kidolgozni, amelyekhez elengedhetetlen a jövőben várható tendenciák minél pontosabb becslése. Vizsgálatunk során az állomási mérések felhasználásával összeállított CARPATCLIM adatbázis szolgált referenciaként. Ennek segítségével kalibráltuk a célterületre a fizikai alapú, osztott hidrológiai modellt, a DIWA-t, valamint ezt használtuk a RegCM4 regionális klímamodell-outputok szisztematikus hibáinak kiküszöbölésére. A hibakorrekciós eljárás MC-rendszerbe ágyazott sztochasztikus időjárás-generátorral történt, amelynek eredményeként több száz, azonos valószínűséggel bekövetkező meteorológiai idősor állt rendelkezésünkre mind a historikus múltbeli, mind a két kiválasztott jövőbeli időszakra (XXI. század közepe és vége) vonatkozóan.

A lefolyás elemzéséhez szimulációkat végeztünk a DIWA modellel, figyelembe véve az összes lehetséges meteorológiai peremfeltételt mind a három időszakra. Eredményeink azt mutatják, hogy a jövőben csökkenni fog az éves lefolyás. Ezt alátámasztja a területre vonatkozó éghajlati becslés is, miszerint a XXI. század végére melegebb és szárazabb klimatikus körülmények várhatók. A napi középvízhozamok legjelentősebb csökkenése júliusban és augusztusban valószínűsíthető. Vizsgálatunkban kitértünk az extrémumok elemzésére is, és úgy találtuk, hogy

a kritikus alsó szintmegaladási esetek a június és szeptember közötti időszakban markánsan növekedni fognak a XXI. század végére. Ugyanakkor a jövőben várhatóan kevesebb lesz a harmadfokú árvízvédelmi készütségi szintet meghaladó esetek száma, tehát kevesebb, azonban a historikus időszakhoz képest esetenként súlyosabb árvizekkel kell szembenéznünk a jövőben. Az adaptációs stratégiákban tehát a tározásnak és a mederbeli lefolyásból ily módon időlegesen kivont vízmennyiségnek, majd későbbi leeresztésének, vízkivétellel párosuló felhasználásának fontos szerepe kell legyen az árvízvédelmi teendők mellett.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kutatásainkat támogatták:

- az OTKA K-129162 és PD138023 számú projektjei,
- az Éghajlatváltozás Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium az RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt keretében,
- valamint a Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (FETIVIZIG), Nyíregyháza.

Továbbá köszönet az adatokért: CARPATCLIM Database © European Commission – JRC, 2013.

IRODALOMJEGYZÉK

Andó M. (2002). A Felső-Tisza vízrendszer hidrogeográfiai adottságai. Hidrológiai Közöny, 82. évf. 3. sz. pp. 129-141.

Attarod, P., Sadeghi S.M.M, Pypker, T.G., Bagheri, H., Bagheri, M., Bayramzadeh, V. (2014). Needle-leaved trees impacts on rainfall interception and canopy storage capacity in an arid environment. In: New Forests p. 17. <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9464-2>

Bardossy, A., Plate, E.J. (1992). Space-time model for daily rainfall using atmospheric circulation patterns. Water Resour. Res., Vol. 28. Issue 5. pp. 1247-1259. <https://doi.org/10.1029/91WR02589>

Bihari Z., Szentimrey T. (2013). CARPATCLIM Deliverable D2.10. Annex 3 – Description of MASH and MISH algorithms. p. 100.

Collins, W.J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., Hughes, J., Jones, C.D., Joshi, M., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., Senior, C., Sitch, S., Totterdell, I., Wiltshire, A., Woodward, S. (2011). Development and evaluation of an Earth-system model – HadGEM2. Geosci Model Dev, Vol. 4. pp. 997-1062. <https://doi.org/10.5194/gmd-4-1051-2011>

Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., Zakey, A., Giuliani, G. (2011). Regional climatic model RegCM-User manual. Version 4.3. ICTP, Trieste, Italy. p. 32.

Follum, M.L., Niemann, J.D., Parno, J.T., Downer, C.W. (2018). A simple temperature-based method to estimate heterogeneous frozen ground within a distributed watershed model. Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 22 Issue5. pp. 2669-2688. <https://doi.org/10.5194/hess-22-2669-2018>

van Genuchten, M.Th., Leij, F.J., Wu, L. eds. (1999). Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media. Parts 1 and 2, University of California, Riverside, CA. pp. 1-12.

Giorgi, F., Marinucci, M.R., Bates, G.T. (1993a). Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary layer and radiative transfer processes. *Mon Wea Rev*, Vol. 121. pp. 2794-2813. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1993\)121<2794:DOASGR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1993)121<2794:DOASGR>2.0.CO;2)

Giorgi, F., Marinucci, M.R., Bates, G.T., DeCanio, G. (1993b). Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Mon Wea Rev*, Vol. 121. pp. 2814-2832. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1993\)121<2814:DOASGR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1993)121<2814:DOASGR>2.0.CO;2)

von Hoyningen-Huene, J. (1981). Die Interzeption des Niederschlags in landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen. In: *Arbeitsbericht Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK, Braunschweig*, p. 63.

HYDROInform Bt. (2012). "Az árvízvédelmi információs rendszer fejlesztése a Felső-Tisza vízgyűjtőjén", SH/2/1 reg. sz. projekt. "Az árvízi lefolyás elemzése" résztema összefoglaló tanulmány. A tanulmány megrendelője: Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (FETIVIZIG), Nyíregyháza. A projekt támogatója: Swiss Hungarian Cooperation Programme. p. 36.

IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou [eds.]). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3-31. doi:10.1017/9781009157896. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

Katz, R.W., Parlange, M.B. (1998). Overdispersion phenomenon in stochastic modeling of precipitation. *J. Clim.*, Vol. 11. Issue 4. pp. 591-601. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<0591:OPISMO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<0591:OPISMO>2.0.CO;2)

Kis A. (2018). Csapadékextrémumok múltbeli tendenciái, jövőre becsült változásai és hidrológiai hatásai. Doktori disszertáció. Témavezető: Dr. Pongrácz Rita, konzulensek: Szabó János Adolf, Dr. Bartholy Judit. ELTE, Budapest, p. 109.

Kis A., Bartholy J., Pongrácz R., Szabó J.A. (2016). A lefolyás extrém jellemzőinek vizsgálata hidrológiai és klimatológiai modellek összekapcsolásával. In: *A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XXXIV. Országos Vándorgyűlés dolgozatai*. ISBN 978-963-8172-35-8. Debrecen, 2016. július 5-8.

Kis A., Pongrácz R., Bartholy J., Szabó J.A. (2017). Application of RCM results to hydrological analysis. *Időjárás*, Vol. 121. Issue 4. pp. 437-452.

Kis A., Szabó J.A., Bartholy J., Pongrácz R. (2018). A XXI. századra becsült klimatikus tendenciák várható hatása a lefolyás szélsőségeire a Felső-Tisza vízgyűjtőjén. In: *A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XXXVI.*

Országos Vándorgyűlés dolgozatai. ISBN 978-963-8172-39-6. Gyula, 2018. július 4-6.

Kis A., Pongrácz R., Bartholy J., Szabó J.A. (2020). Projection of runoff characteristics as a response to regional climate change in a Central/Eastern European catchment. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 65. pp. 2256-2273. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1798008>

Laczi Z. (2021). Tizenöt éve történt: vízállásrekordok a Tiszán és a Hármas-Körösön. OVF. <http://www.ovf.hu/hu/korabbi-erdekessegek-1/15-eve-tortent>

Link, T. E., Unsworth, M., Marks, D. (2004). The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 124. pp. 171-191. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.01.010>

Martinec, J. (1960). The degree-day factor for snowmelt runoff forecasting. In: *IUGG General Assembly of Helsinki, IAHS Commission of Surface Waters, IAHS Publ. No. 51*, pp. 468-477.

Martinec, J., Rango, A. (1986). Parameter values for snowmelt runoff modelling. *Journal of Hydrology*, Vol. 84. pp. 197-219. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90123-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90123-X)

Matyasovszky I. (2002). *Statisztikus klimatológia*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. p. 317. ISBN 963 463 543 1

Molnau, M., Bissell, V.C. (1983). A continuous frozen ground index for flood forecasting. *Proceedings 51st Annual Meeting Western Snow Conference, Canadian Water Resources Association, Cambridge, Ontario*, pp. 109-119.

Parlange, M.B., Katz, R.W. (2000). An Extended Version of the Richardson Model for Simulating Daily Weather Variables. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 39. Issue 5. pp. 610-622. <https://doi.org/10.1175/1520-0450-39.5.610>

Pieczka I., Pongrácz R., Szabóné André K., Kelemen F.D., Bartholy J. (2017). Sensitivity analysis of different parameterization schemes using RegCM4.3 for the Carpathian Region. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 130. pp. 1175-1188. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1941-4>

Pieczka I., Pongrácz R., Bartholy J., Szabóné André K. (2018). Future temperature projections for Hungary based on RegCM4.3 simulations using new representative concentration pathways scenarios. *International Journal of Global Warming*, Vol. 15. pp. 277-292. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2018.093121>

Pongrácz R., Bartholy J., Szabó J.A. (2013). Distributed hydrological modelling- and stochastic weather generator-based combined estimation technique for future flood frequency using regional climate model simulation. In: *93rd Annual Meeting of the American Meteorological Society*. Austin, TX. Paper J6.1, p. 9. Available online at <https://ams.confex.com/ams/93Annual/webprogram/Manuscript/Paper218149/PR-BJSZJA-AMS-2013-paper-final.pdf>

Spinoni, J. és a CARPATCLIM projekt csapata (39 szerző) (2015). Climate of the Carpathian Region in 1961–2010: Climatologies and Trends of Ten Variables. *Int J Climatol*, Vol. 35. pp. 1322-1341.

<https://doi.org/10.1002/joc.4059>

Stefanovits P. (1992). Talajtan. Mezőgazda Kiadó.p. 379.

Szabó J.A. (2007). Decision Supporting Hydrological Model for River Basin Flood Control. In: *Digital Terrain Modelling: Development and Applications in a Policy Support Environment*, eds.: Peckham, R.J. and Jordan, Gy., Springer-Verlag, Germany, pp. 145-182. https://doi.org/10.1007/978-3-540-36731-4_7

Varga-Haszonits Z. (1969). Determination of the water content and of the evaporation of bare soil. *Időjárás*, 73. évf. 6. sz. pp. 328-334.

van Vuuren, D.P., Edmonds, J.A., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A.M., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, Vol. 109 pp. 5-31.

<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

Walter, H., Lieth, H. (1960). *Klimadiagramm-Weltatlas*. Fischer, Jena. p. 130.

A SZERZŐK



lya által odaítélt Szádeczky-Kardoss Elemér díjat.

KIS ANNA az ELTE Meteorológiai Tanszék tudományos munkatársa. BSc diplomáját 2011-ben szerezte meg Földtudomány szakon, 2013-ban pedig elvégezte a Meteorológus MSc-t éghajlatkutató szakiránnyal. Ezután az ELTE TTK Földtudományi Doktori Iskolájának ösztöndíjas hallgatója volt, és 2019-ben PhD fokozatot szerzett a csapadékextrémumok múltbeli tendenciái, jövőre becsült változásai és hidrológiai hatásai témakörben. 2017-ben elnyerte az ÚNKP ösztöndíjat. Kutatási területe regionális klímamodell szimulációk elemzése, a becsült éghajlatváltozás hidrológiai hatásának vizsgálata. 2013-ban elnyerte a Magyar Hidrológiai Társaság Lászlóffy Woldemár diplomamunka pályázatának dicséretét, 2018-ban pedig az MTA Földtudományok Osztá-



az MTA Meteorológiai Tudományos Bizottság Éghajlati Albizottságának titkári tisztségét tölti be. Szakmai tevékenységét Pro Meteorologia díjjal ismerték el 2016-ban, valamint Hegyföky Kabos Emlékéremmel 2021-ben.

PONGRÁCZ RITA az ELTE Meteorológiai Tanszék oktatója, kutatója 2000 óta. Egyetemi tanulmányait meteorológus szakon, hidrológus szakirányú képzéssel kiegészítve az ELTE TTK-n végezte 1991-1996 időszakban. Ezt követően az ELTE TTK Földtudományi Doktori Iskolájának ösztöndíjas hallgatója volt, majd 2003-ban szerzett PhD fokozatot a nagytérségű cirkuláció és a légköri oszcillációk (ENSO, NAO) együttes regionális éghajlati hatása témakörben. Kutatási területe a klímaváltozáshoz, a klímamodellhez, az extrém éghajlati események elemzéséhez, valamint városklimatológiához és műholdas adatok meteorológiai alkalmazásához kapcsolódik. 2001-2004 időszakban az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíjban részesült. 2003-ban és 2009-ben az MTA Földtudományok Osztálya Szádeczky-Kardoss Elemér díjat ítélte meg számára. 2015-től



megújuló energiaforrások hasznosítási lehetőségeivel, valamint a szélsőséges éghajlati eseményekkel foglalkozik. MTA doktori címét 2006-ban szerezte meg a Kárpát-medence éghajlati múltjának rekonstrukciója és a jövőben várható tendenciák becslése témakörében készített disszertációjával, 2014-től 2020-ig az MTA Meteorológiai Tudományos Bizottságának elnöki tisztét töltötte be. Tudományos tevékenysége elismeréseként 2000-ben Steiner Lajos Emlékéremet és Pro Meteorologia díjat, 2009-ben a Magyar Köztársasági Érdemrend lovagkeresztjét, 2014-ben Schenzl Guido díjat, valamint az MMT Hegyföky Kabos díjat kapta meg. 2018-ban az ELTE Pro Universitate Emlékérem arany fokozatát ítelték meg számára.

BARTHOLY JUDIT az ELTE Meteorológiai Tanszékének professzora 2000 óta (2022-től professzor emeritus). Egyetemi tanulmányait az ELTE TTK-n végezte 1976-ban matematikai tanár, meteorológus szakon. Diplomamunkájának témája a meteorológiai mezősorok ortogonális sorfejtése volt. Ezt követően az Országos Meteorológiai Szolgálatnál dolgozott 1976 és 1992 között tudományos kutatói státuszban. 1988-ban kandidátusi címet szerzett. 1992-től az ELTE Meteorológiai Tanszékének oktatója, melynek egyben vezetője is volt 1996-2017 időszakban. Oktatási tevékenysége és kutatási szakterülete a klimatológiához kapcsolódik. Elsősorban a globális éghajlatváltozás regionális leskalázásával, modellezésével, a városok éghajlat-módosító hatásával, a



tudományos kutató, modellfejlesztő; – HYDROInform Bt. (2000-napjainkig), ügyvezető, hidrodinamikai kutató, rendszer- és algoritmus-fejlesztő.

SZABÓ JÁNOS ADOLF tanulmányait az ELTE TTK-n végezte, ahol 1985-ben MSc diplomát szerzett, mint matematikus, majd vízgazdálkodási rendszerek matematikai leírására specializálódott. Szakmai tevékenységének pilléreiként említhetjük a komplex hidrológiai, hidraulikai folyamatok matematikai modellezése, az integrált vízgazdálkodási döntéstámogató, üzemi irányító hidrodinamikai rendszerek fejlesztése, a klímaváltozás vízi környezetekre gyakorolt hatásainak elemzése témaköröket. Szakmai pályafutásának kiemelt állomásai: – VITUKI (1981-1989), tudományos munkatárs; – MOL-SzKFI Kutató-Fejlesztő-Laboratórium (1989-2000), fejlesztő matematikus; – MTA Vízgazdálkodási Kutatócsoport, BME (2000-2003), tudományos munkatárs; – European Commission, Joint Research Centre (JRC), Institute of Environment and Sustainability (2003-2007),

A szivárgási tényező jelentősége kavicsbányatavak hatásvizsgálata esetén

Csoma Rózsa

BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék. 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: csoma.rozsa@emk.bme.hu)

DOI:10.59258/hk.13174



Kivonat

A bányatavak vízének párolgása a talajvízből pótlódik. Ez a fedett területhez viszonyított többlet a felszín alatti vízmérleg szempontjából veszteség, mely a létesítendő mű környezetében módosuló áramlási viszonyokat és lecsökkenő talajvízszintet eredményez. Ezen vízszintcsökkenés – leszívás – nagyságát a szivárgási tényező alapvetően befolyásolja. A szivárgási tényező a műszaki és a földtani gyakorlat egyik legbizonytalanabban becsülhető jellemzője, hiszen egy adott bányatelken pontról pontra, vagy rétegről rétegre akár nagyságrendi változások is előfordulhatnak. Eközben igazolható, hogy hatása a tó környékén kialakuló talajvízszintekre jelentős: egy adott talajon belüli szélsőségek a leszívásban akár tízszeres eltérést is okozhatnak. Jelen közlemény célja a szivárgási tényező meghatározására kidolgozott főbb módszerek összefoglalásával, a bányatelkek vizsgálata során leginkább alkalmazható módszerek összevetésével felhívni a figyelmet a paraméter fontosságára.

Kulcsszavak

Kavicsbányászat, talajvízszint-süllyedés, szivárgási tényező, becslés a szemeloszlás alapján.

The importance of the hydraulic conductivity in case of the impact assessment of gravel pits

Abstract

The evaporation of gravel pits is recharged from the groundwater. This surplus of the open surface compared to the covered area is a loss of water from the point of view of the groundwater balance, that results in modified flow conditions and the sinking of the groundwater level around the gravel pit both in operation and abandoned. The magnitude of this water level sinking – drawdown – is essentially influenced by the hydraulic conductivity. The hydraulic conductivity is one of the most uncertain parameters to estimate in the engineering and geological practice, as even within a given mining lot it may vary rather sharp from point to point, from layer to layer. But at the same time, it may be proven, that the effect of the hydraulic conductivity on the groundwater levels is significant: in case of a given type of soil the possible extreme values of the conductivity may result even a tenfold difference in drawdown. Summarizing the main methods to determine the hydraulic conductivity and comparing them from the point of view of gravel dredging, the aim of this paper is to call the attention on the importance of this parameter.

Keywords

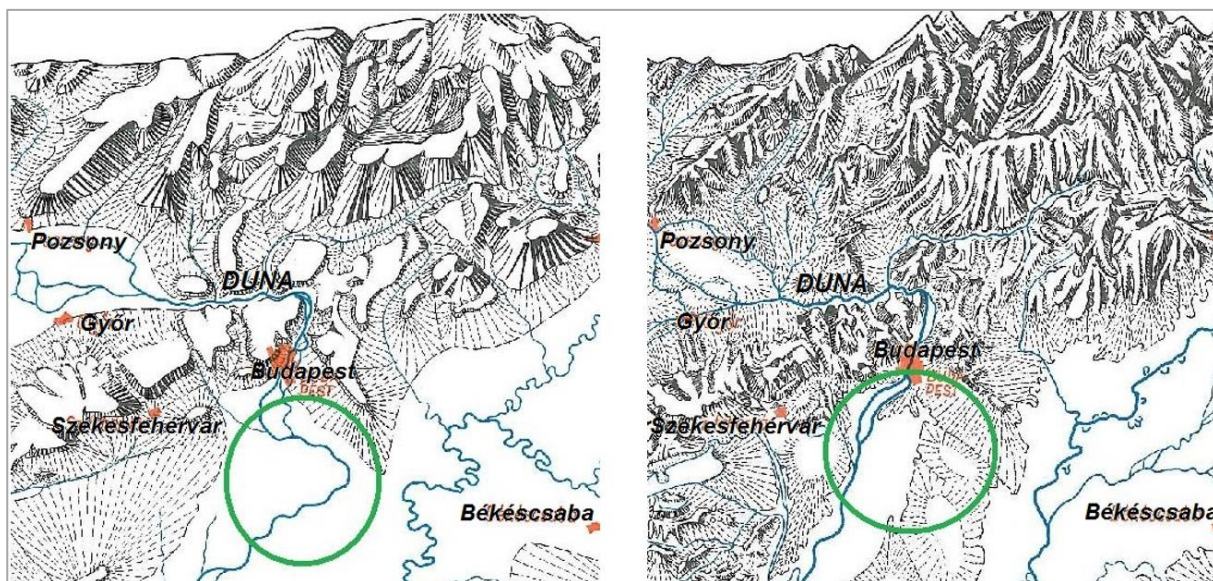
Gravel dredging, groundwater drawdown, hydraulic conductivity, estimation based on grain size distribution.

BEVEZETÉS

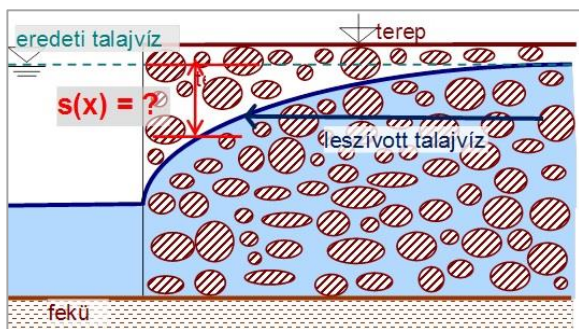
Hazánkban és világszerte is a kavicsbányászat erőteljes fejlődését a beton, mint nagy tömegben egyszerűen előállítható építőanyag megjelenése indította el. A kavicsbányászat akkoriban első sorban a folyami kavicskotrást jelentette. Az egyre növekvő igény a jó minőségű betonadalékanyagra új, fedett területek kavicskészletének feltárását, a korábbi geológiai korok felhagyott folyómedreinek és hordalékkúpjainak hasznosítását vonta maga után. Itt viszont a haszonanyag részben a talajvíz szintje fölött, de igen gyakran a talajvízszint alatt helyezkedik el, azaz a kitermelés nyomán kavicsbányató alakul ki (Tompa 1982). Hazánkban a nagyobb folyóink mentén több ilyen terület is található, mint például Budapeستől délkeletre, a Duna-Tisza közének északi részén. A térség részletes geológiai fejlődéstörténetének bemutatását mellőzve, a vízrajzi viszonyokat csak a rissz-würm interglaciálisban, illetve a jelenlegi állapotban adjuk meg, melyet a *Vízrajzi Atlasz* nyomán az 1.

ábra szemléltet. Itt a bal oldali kép a korábbi, a jobb oldali a jelenkori állapotot szemlélteti (*Vízrajzi Atlasz 1971*). Az ábrákon körrel jelölt, jelenleg is kitermelés alatt álló terület kavicskészlete a Duna korábbi medrében és környezetében halmozódott fel.

Ezen a területen az első világháborút követően indult a szélesebb körű kavicsbányászat. A tavak összterülete mára egyes becslések szerint meghaladja a 2000 hektárt. A bányatavaknak, mint új szabad vízfelületeknek a fedett felületekhez viszonyított többletpárolgása általában teljes egészében a talajvízből pótlódik. Ez a felszín alatti vízmérleg szempontjából veszteség, mely egyrészt módosuló áramlási viszonyokat, másrészt – különösen a létesítendő mű környezetében – lecsökkenő talajvízszintet eredményez. Ez utóbbit szemlélteti a 2. ábra. A hatás a kitermelés során erőteljesebb, de a felhagyott tavak esetén sem szűnik meg. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy ez a talajvízvesztés a légkör számára nyereséget jelent.



1. ábra. A vizsgált terület a Vízrajzi Atlasz (1971) nyomán, a riss-würm interglaciálisban és jelenleg
 Figure 1. The area examined based on the Hydrographic Atlas (1971) in the riss-würm and interglacial period and present



2. ábra. Bányató okozta talajvízszint-süllyedés
 Figure 2. The drawdown of the gravel pit

Bányatelkek engedélyezési eljárásához készülő hatásvizsgálatok esetén ezen, a tó környezetében előforduló vízszintcsökkenés – a 2. ábra szerinti $s(x)$ leszívás – körültekintő meghatározása döntő fontosságú lehet. A leszívás valójában a bányató okozta vízszint-változás valamely, a vizsgált tó létesítését megelőző referencia-időszaki szinthez, azaz az alapállapothoz viszonyítva. A leszívás mértékét a környező terület k szivárgási tényezője meghatározó módon befolyásolja, hiszen a Darcy-törvény értelmében magas vízvezető képességű talajokban a hatásterület nagy, a vízszintváltozás fokozatos, míg csekélyebb vízvezető képesség esetén kisebb hatásterületen erőteljesebb változások alakulnak ki. Így a k jelentősége kavicsbányák létesítése és működése során alapvető.

A szivárgási tényező azonban talán az egyik legnehezebben meghatározható paraméter, mely egy adott talajnem adott rétege esetén is gyakran pontról pontra, sőt akár irányonként is változó lehet. Egy adott talajnem belülről akár százszoros eltérés is előfordulhat.

Jelen munka célja a szivárgási tényező meghatározásában rejlő nehézségek és bizonytalanságok bemutatásával felhívni a figyelmet a paraméter jelentőségére kavicsbányaterületek környezeti hatásainak vizsgálatára.

A k SZIVÁRGÁSI TÉNYEZŐ

Henry Darcy 1850-es években végzett kísérletei nyomán

definiálta a szivárgási sebességet, mint talajban az áramlás irányával megegyező irányú nyomásesés (valójában a nyomásvonal lejtése, hazai szóhasználatban hidraulikus gradiens, S) és egy talajnemtől függő paraméter – azaz a k szivárgási tényező – szorzata: $v = k \cdot S$. Tekintettel arra, hogy az esés mértékegység nélküli, a k mértékegysége a sebességgel azonos. A Darcy-törvény lamináris vízmozgást feltételez, a nehézségi erő és a folyadék belső súrlódási erejének dominanciájával.

Kovács (1972) a k tényezőt – a talaj pórusait csővezetéknek tekintve – a csőhidraulika lamináris áramlásának segítségével definiálja. Juhász (2002) áteresztő képességnek felület dimenzióval önmagában csak a szilárd váz hatását tekinti. Ezen tovább lépve, szivárgási tényezőnek nevezi a vázszerkezet és a benne áramló folyadék együttes hatását figyelembe vevő mennyiséget, mely sebességgel megegyező dimenziójú.

A paraméter egyik legegyszerűbb definícióját talán egy korábbi szabványunk adja: „Szivárgási tényező (áteresztőképességi együttható, k -tényező) a talajokban az egységnyi hidraulikus gradiens mellett kialakuló, a talaj minőségétől, állapotától és szerkezetétől függő szivárgási sebesség. (Jele: k , mértékegysége: m/s vagy m/nap)” (MSZ 15221 1969). A szivárgási tényező elnevezés inkább a vízmérnöki, az áteresztőképességi együttható inkább a mélyépítési gyakorlatban honosodott meg. Megjegyzendő, hogy a fizika szabályai szerint az utóbbi helyes, mert a tényező dimenzió nélküli szám, az együtthatónak viszont van – itt éppen a sebességgel megegyező – dimenziója. A mértékegységek közül a m/s inkább a mérnöki, a m/d inkább a földtani gyakorlatban terjedt el. Látható tehát, hogy a széles körben alkalmazott jellemzőnek sem a megnevezése, sem a mértékegysége nem egységes.

A szivárgási tényező inhomogén talajban akár pontról pontra, sőt irányonként is változhat. Jelen vizsgált folyami üledékekben azonban – ha jelentősebb kéregmozgások nem fordultak elő – az anizotrópia csupán az eltérő függőleges és vízszintes értékeket jelenti, gyakran azonban ezt is elhanyagoljuk.

A szivárgási tényező nagysága igen változatos, az agyagtól a kavicsig akár 10 000 000 000-szeres is lehet az eltérés. Számptalan kézikönyv ad meg tájékoztató értékeket, melyek gyakran az egyes szerzők személyes tapasztalatán alapulnak és több esetben egymásnak ellentmondóak. Jó példa erre a *Mérnöki Kézikönyv* két kiadása,

amelyet az 1. táblázat mutat. A táblázat bal oldali oszlopai az 1957-es kiadás 2. kötetének 12. táblázata (*Mérnöki Kézikönyv 1957*), míg a jobb oldali oszlop az 1981-es kiadás 1. kötetének 5-10. táblázata (*Mérnöki Kézikönyv 1981*) alapján készült. Látható, hogy a megadott talajokhoz több esetben is jelentősen eltérő szivárgási tényező tartozik.

1. táblázat. A szivárgási tényező értékei a *Mérnöki Kézikönyv* két kiadása szerint

Table 1. The values of hydraulic conductivity based on two editions of the *Engineering Handbook*

Kiadás éve	1957.				1981.			
	m/s		m/d		m/s		m/d	
	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.
Közepes kavics	5,0E-02	1,0E-02	4 320	864	1,0E+00	1,0E-01	86 400	8 640
Finom kavics	1,0E-02	1,0E-04	864	8,64	1,0E-01	1,0E-02	8 640	864
Folyami homok	1,0E-02	5,0E-04	864	43,20	1,0E-02	1,0E-03	864	86,4
Duna-homok	-	-	-	-	1,0E-03	1,0E-04	86,4	8,64
Finom homok	1,0E-03	1,0E-04	86,4	8,64	-	-	-	-
Agyagos homok	-	-	-	-	1,0E-04	1,0E-05	8,64	0,86
Homokliszt	1,0E-05	1,0E-06	0,864 0	0,086 4	1,0E-05	1,0E-06	0,864 0	0,086 4
Iszap	1,0E-06	1,0E-08	0,086 400	0,000 864	1,0E-06	1,0E-08	0,086 400	0,000 864
Agyag	1,0E-08	1,0E-11	0,000 864 0	0,000 000 86	1,0E-08	1,0E-10	0,000 864 0	0,000 008 6

A SZIVÁRGÁSI TÉNYEZŐ HATÁSA TAVAK KÖRNYEZETÉBEN

Bányatavak vízvesztése

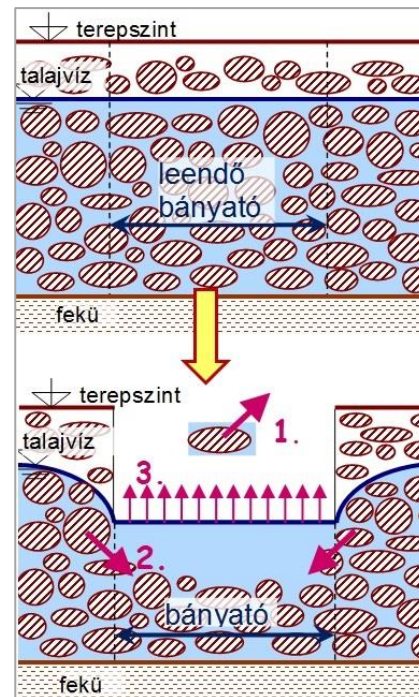
Külműveléses kavicsbányászat esetén egy korábban fedett területből nyílt felszínű tó lesz, mely a környező talajvíz szempontjából nyelőként működik. Ez a vízvesztés a kitermelés során erőteljesebb, de a felhagyott bányatavak esetén sem elhanyagolható. Fenti folyamatot szemlélteti a 3. ábra. Az eltávozó víz a környező területek talajvizéből pótlódik, lecsökkentve annak szintjét. Maga a vízvesztés a kitermelés során, annak ütemétől függően időben változó – általában növekvő – mennyiségű. Az üzemelés során több hatás is okoz vízvesztést, melyet az alábbi felsorolással összhangban a 3. ábra is mutat:

1. a kitermelt kavicssal együtt távozó víz mennyisége;
2. a kitermelt kavics helyét kitöltő víz mennyisége, mely a talajból (talajvízből) pótlódik;
3. a növekvő tófelületből származó, a fedett területhez viszonyított többletpárolgás,

míg a bányaművelés befejezése után a már állandósult szabad vízfelület 3. jelű többletpárolgása okoz veszteséget.

Bányatavak hatásvizsgálata esetén alapvető fontosságú az eltávozó víz okozta talajvízszint-csökkenés – a leszívás – nagyságának meghatározása. A leszívás mértékét viszont az előző pontban definiált szivárgási tényező alapvetően befolyásolja. A leszívás becslését egy egyszerű mintafeladaton mutatjuk be, részletes érzékenység-vizsgálattal szemléltetve a szivárgási tényező hatását.

Célunk ezzel nem egy konkrét térség adott bányatelkének vizsgálata, hanem az egyéb környezeti hatásoktól mentesített alapjelenség elemzése nyomán bemutatni a szivárgási tényező hatását és jelentőségét, mely a bányató környezetében kialakuló talajvízszinteket és leszívásokat befolyásolja. Az elemzések így első sorban a lokális hatásokra terjednek ki.



3. ábra. Eredeti állapot és a vízvesztések
Figure 3. The original situation and the losses

A mintafeladat

Az előző pontban megfogalmazott kérdéseket egy valós alapokon nyugvó, de fiktív mintafeladat segítségével igyekezzünk megválaszolni. Így, az egyszerűség érdekében egy kör alakú tavat vizsgálunk, melyet $T_0 = 8$ év alatt termelnek ki. A felhagyott tó sugara $R_{t0} = 250$ m (átmérője $D_{t0} = 500$ m, területe közel 20 ha), a nyomás alatti vízvezető réteg vastagsága $H = 12$ m, a talaj porozitása $n = 32\%$, tározási tényezője $S = 0,28$, a szabad vízfelszín fedett felülethez viszonyított többletpárolgása pedig $P = 200$ mm/év. A területre jellemző szivárgási tényezőt $k = 1, 2, 5, 10, 20, 50$ és 100 m/d értékekkel vizsgáljuk, a tó középpontjától $r = D_{t0} = 500$ m, $r = 2D_{t0} = 1000$ m és $r = 3D_{t0} =$

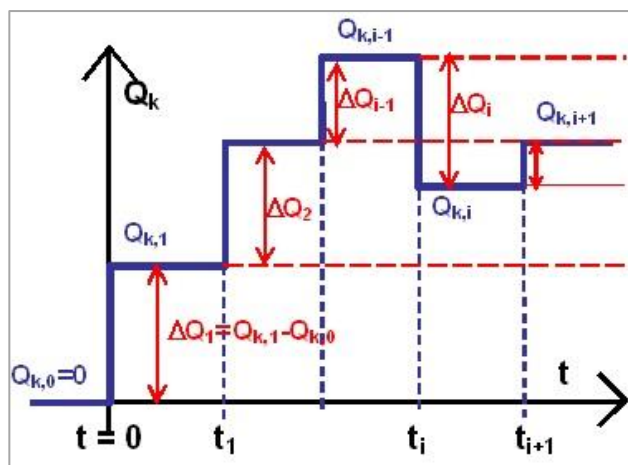
1500 m-es távolságban. A vizsgálatokat 1 éves időlépcsővel, 25 évre terjesztjük ki. Az itt megadott jellemzők nagyságrendje a bevezetésben röviden bemutatott Budapest-közeli térség adatait, azonban nem egy konkrét bányatelek értékeit tükrözi.

Jelen, kerek tó hatásának leírása szakaszonként állandó hozamú kútként kezelve viszonylag egyszerűen, a Theis-féle összefüggés időlépcsőnkénti összegzésével vizsgálható, melyet a 4. ábra is mutat. Az előző pont szerinti folytonosan változó vízvesztéssel

jellemezhető tavat lépcsősen közelítve a leszívás nagysága a t_{n-1} és t_n időpontok közötti időintervallumban az alábbi összeg segítségével határozható meg (Varga és Csoma 1995):

$$s(r, t_{n-1} < t \leq t_n) = \frac{1}{4\pi kH} \sum_{i=1}^n \left\{ \Delta Q_i \cdot W \left[\frac{r^2 S}{4kH(t-t_{i-1})} \right] \right\} \quad (1)$$

az előző jelöléseken túl ΔQ_i a 4. ábra szerinti időlépcsőnkénti vízvesztés-változás és $W(u)$ a Theis-féle kútfüggvény, melyet korábban táblázatosan, manapság inkább sorba fejtve adunk meg.



4. ábra. A vízvesztés lépcsős közelítése
Figure 4. The stepwise approximation of the water loss

Az (1) összefüggés hidraulikailag a fektet elérés teljes kútnak tekinthető kerek tavak környezetében adja meg a vízkivétel okozta leszívás hely- és időbeli változását. Végtelen kiterjedésű vízszintes síkú, nyomás alatti talajvízteret vizsgál, ahol a kezdeti állapotban vízmozgás nincsen, vízszintes a talajvízfelszín. A számítás kezdeti időpontjában az origóba helyezett kút kezd üzemelni, melynek hatása a számítás időtartama alatt a végtelen távoli határokon nem érzékelhető. A módszer egyéb hatásokat, mint például egy közeli vízfolyás vagy a távolabbi térségekből származó háttéráramlás nem tudja figyelembe venni, csak az egyedi bányató leszívását vizsgálja. Természetesen a pontszerűnek tekintett kút hatását csak a tó területén kívül értelmezzük.

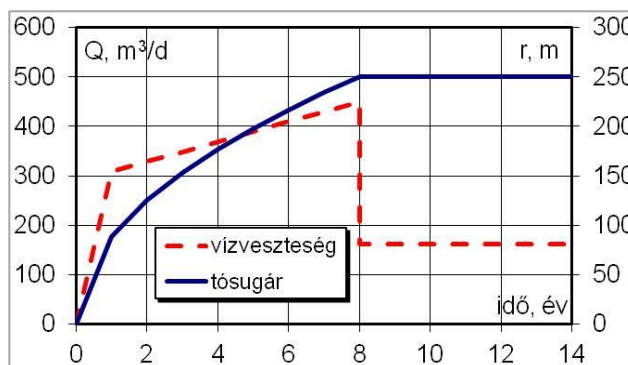
Hasonló peremfeltételekkel leírható a jelenség szabad felszínű változata is, mely azonban a kút okozta szintváltozás (s) tekintetében már nem lineáris. Igaz, hogy az összefüggés linearizálható, a végeredmény összetettebb, iterációs

megoldást igényel (Varga és Csoma 1995). Bár a fent említett térségben előfordulhat vízzárónak tekinthető fedő jelenléte vagy hiánya is, azonban szemléltetési céllal csak az (1) összefüggésnek megfelelő változatot mutatjuk be.

Az (1) összefüggés egyszerű számítási módja viszont nagytömegű, gyors számítást tesz lehetővé.

Eredmények

Fenti számítások első eredménye a vízvesztés időbeli változása, melynek egy lehetséges változatát a tó sugár változásával együtt az 5. ábra mutatja. Jól látható, hogy a tervezett 8 éves üzemidő alatt a vízvesztés annak korábban definiált három tétele miatt a tó sugárral együtt folyamatosan növekszik, majd az üzemidő végén a párolgásnak megfelelően egy alacsonyabb szinten állandósul. Az 5. ábra a tervezett számítási időnél rövidebbet mutat, mert az üzemidő befejeztével változás már nincsen.



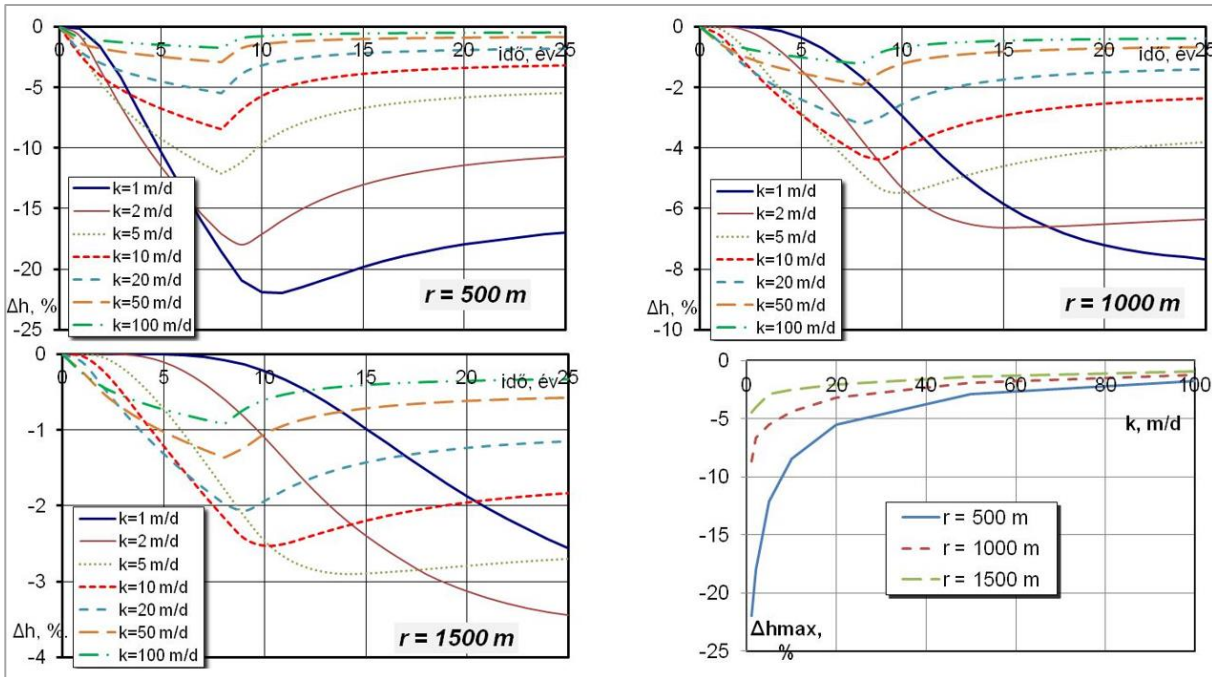
5. ábra. Tó sugár és vízvesztés időbeli változása
Figure 5. The time variation of lake radius and water loss

A leszívások időben követik a vízvesztésüket. Ezt foglalja össze a 6. ábra első három grafikonja. A grafikonokon a leszívások időbeli változása látható a vizsgált 25 éves időtartamra, az előző pontban megadott hétféle szivárgási tényezővel számítva a tó középpontjától $r = D_{t0} = 500$ m-re, $r = 2D_{t0} = 1000$ m-re és $r = 3D_{t0} = 1500$ m-re. Az ábrán a relatív leszívásokat tüntették fel, mely a leszívásnak a vízvezető réteg vastagságára vonatkoztatott előjeles mennyisége %-ban kifejezve, vagyis $\Delta h = -s/H \cdot 100$ (%).

A 6. ábra negyedik grafikonja az előző három összegzése nyomán az egyes változatok legnagyobb leszívásait (Δh_{max} , %) foglalja össze a szivárgási tényező

függvényében, a fent megadott távolságokban.

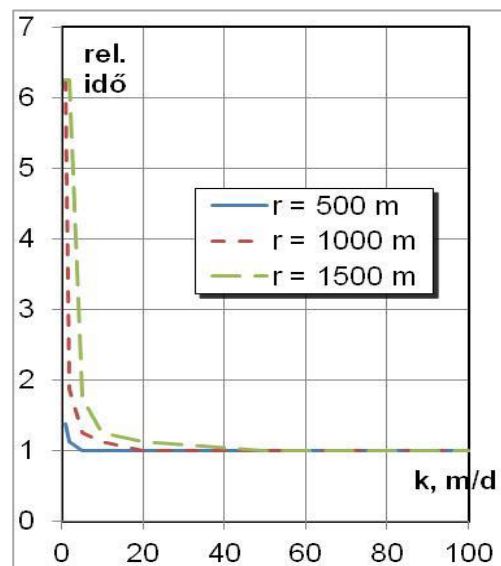
Az ábrák alapján látható, hogy a bányató közelében ($r = D_{t0}$) a változások viszonylag intenzívek, különösen alacsonyabb szivárgási tényezők esetén. Itt a legnagyobb leszívások értéke a legalacsonyabb k -val több, mint tizenkétszeres a legmagasabb k -val kapott értékhez képest. Ez az arány a tótól távolodva csökken, így a legtávolabbi, $r = 3D_{t0}$ helyen már csak ötszörös. Azaz, amennyiben a tóközeli területeken vizsgáljuk a bányató leszívó hatását, a szivárgási tényezőre különös figyelmet szükséges fordítani, mert igen érzékeny rá. Távolságban a k hatása csillapul.



6. ábra. Relatív leszívások 500, 1000 és 1500 m-re a tó középpontjától és a maximális leszívás
Figure 6. Relative drawdown at the distances of 500, 1000 and 1500 m from the lake centre and the maximum drawdown

A jelenség időbeli lefolyását tekintve is számottevő eltérés tapasztalható a szivárgási tényező szélső értékei mellett: általában magasabb k esetén a maximális leszívások a hozam maximuma idején, a kitermelés végén alakulnak ki, míg alacsonyabb vízvezető képesség esetén kisebb-nagyobb késleltetéssel. A késleltetés mértékét a tótól mért távolság nagyban befolyásolja.

A bányató közelében ($r = D_{t0}$) a $k = 20$ - 100 m/d tartományban nincsen késleltetés, míg távolabb ($r = 3D_{t0}$) csak $k = 50$ m/d felett. A jelenséget a 7. ábra foglalja össze, ahol a függőleges tengelyen megadott relatív idő a fenti késleltetésnek a kitermelés 8 éves időtartamára vonatkoztatott értéke. Ha ez 1, a legnagyobb leszívás a kitermelés végén alakul ki, ha nagyobb, az előzőekben bemutatott késleltetés jelenik meg. Megjegyzendő, hogy az $r = 2D_{t0}$ helyen $k = 1$ m/d esetén, valamint az $r = 3D_{t0}$ helyen $k = 1$ m/d és $k = 2$ m/d esetén is, a számítást a megadott 25 év helyett tovább folytattuk, de a leszívás – bár már alig változott – még 40 év után sem érte el a maximumot.



7. ábra. A legnagyobb leszívás kialakulásának ideje
Figure 7. The time when the maximum drawdown develops

Az érzékenység-vizsgálatok nyomán összefoglalásul megállapítható, hogy:

- a leszívások nagysága igen érzékeny a szivárgási tényezőre, különösen a bányatavak közelében,
- alacsonyabb szivárgási tényező esetén a maximumok késleltetve alakulnak ki, különösen a tótól kissé távolabb,
- ez a késleltetés akár igen jelentős is lehet.

Mindezek alapján belátható, hogy helytelenül megválasztott szivárgási tényezővel végzett számítások esetén például túlzottan nagy vagy túlzottan csekély szintváltozásokat és túlzottan elhúzódozó, vagy éppen túl gyorsan kialakuló hatást becsülhetünk a valójában létrejövőhöz képest.

Hangsúlyozandó azonban, hogy fenti számításokat az egyszerűség érdekében kör alakú tó feltételezésével végeztük. Körtől jelentősen eltérő tóalak (pl. keskeny hosszú vagy szabálytalan) esetén a tendenciák hasonlóak kell legyenek, de a fentiekhez képest számottevő eltérések alakulhatnak ki a hengersizmetrikustól eltérő áramlási viszonyok miatt, különösen a tó közelében. Azonban a bemutatott egyszerű számítás is jól érzékelteti a szivárgási tényező jelentőségét.

A SZIVÁRGÁSI TÉNYEZŐ MEGHATÁROZÁSA

Az előző pontok egyértelműen megmutatták, hogy a szivárgási tényező a vizsgálatok szempontjából döntő fontosságú. Meghatározása azonban meglehetősen összetett feladat, mely a kutatókat a XIX. század közepétől napjainkig foglalkoztatja. Erre ad példát egyrészt *Gotthilf Heinrich Ludwig Hagen* (1797-1884) porosz mérnök összefüggése 1869-ből, melyet *Kovács* említ munkájában (*Kovács* 1972), másrészt *Farkas és társai* (2019) legfrissebb kutatásai.

A szivárgási tényező a korábbiakban megadottak szerint talajneemtől függően széles határok között változhat. Nagyságát elsősorban a talaj szemszerkezete, a szemátmérő, a szemcsék alakja és elhelyezkedése, a szemcsék közötti pórusok mérete és eloszlása, a talaj telítettsége, szivárgó folyadék fizikai tulajdonságai és mozgásjellemzői, a szemcsék vízmozgás hatására történő elmozdulási lehetőségei stb. határozzák meg. A k nagysága közvetlenül nem mérhető, meghatározására az eltérő talajnemek eltérő igényeit is figyelembe véve sokféle lehetőség nyílik. A főbb eljárások a helyszíni mérésen alapuló meghatározás, a helyszínen vett minta laboratóriumi értékelése és a közvetett, gyakran tapasztalati módszerek.

A helyszíni vizsgálatok lehetnek pontszerűek, mint a szondázások (pl. *Khafagi*-szonda) vagy a beszívárgás-mérés. Ezek gyakran egy adott irányú vízvezető képességet adnak meg, mint például a beszívárgást mérő *Müntz – Laine*-féle készülék, mellyel a k függőleges értékét kapjuk. A nagyobb térséget átfogó helyszíni mérések a próbaszivattyúzások és a nyeletés. Ezen esetekben adott helyen vízszinteltérést hozunk létre a talajban, azaz vizet veszünk ki (próbaszivattyúzás) vagy többbetet juttatunk be (nyeletés), majd az így létrehozott változás térségi hatásait megfigyelő kutakkal ellenőrizzük. A mérés során létrehozott határból, annak térbeli vagy időbeli terjedéséből lehet következtetni a szivárgási tényezőre.

A helyszínen vett minta laboratóriumi elemzéséhez például permeabiméterek (állandó vagy változó nyomással), vagy az ödométer alkalmazhatók, illetve triaxiális vizsgálat végezhető, melyek azonban kavicsos talajokra kevésbé megfelelőek.

A tapasztalati módszerek közül a legegyszerűbben a talajnem alapján kézikönyvekben (lásd *I. táblázat*) megadott értékekkel becsülhetjük a szivárgási tényezőt. Ennél megalapozottabbnak tűnik, ha valamely más vizsgálat eredményeiből következtetünk a szivárgási tényezőre. Ezek közül a szemeloszlás jellemzőiből a k becsülésére többféle összefüggés is a rendelkezésünkre áll, melyek általában elméletileg megalapozottak, de tapasztalati alapon születtek. Így alkalmazhatóságuk korlátozza maga az összefüggés kidolgozásának módja.

Bányatavak hatásvizsgálata esetén ezen utóbbi módszert igen gyakran alkalmazzuk a szivárgási tényező meghatározására. A hatásvizsgálatokat szinte minden esetben megelőzi a terület részletes feltárása számos kutatófúrással, néha évtizedekkel korábbról is. Ez esetben a haszonanyag minősítéséhez általában szemeloszlás-vizsgálat is készül. Ezen szemeloszlási görbék képezhetik a szivárgási tényező meghatározásának alapját, emiatt ezt a módszert kissé részletesebben ismertetjük.

Igen célszerű lenne frissebb, a jelen helyzetet jobban tükröző helyszíni vizsgálatok (pl. próbaszivattyúzás) alapján becsülni egy-egy tervezett bányató hatását, azonban erre igen ritkán nyílik lehetőség. A próbaszivattyúzás további, részletes elemzésétől így eltekintünk.

A szemeloszláson alapuló szivárgási tényező meghatározás során az alkalmazható összefüggések általában három mennyiség szorzatából állnak:

$$k = C \cdot f(n, e, C_u, \dots) \cdot d_k^n$$

ahol C az összefüggést kidolgozó által meghatározott állandó, $f(n, e, C_u, \dots)$ a szemszerkezetet figyelembe vevő tag, mely gyakran az n porozitástól, az e hézag-tényezőtől, a C_u egyenlőtlenégi mutatótól, vagy egyéb, hasonló jellemzőtől függ, míg d_k^n az adott kutató által jellemzőnek tekintett szemátmérő valamely hatványa.

Az első tag lehet egy állandó, de függhet például a hőmérséklettől vagy a viszkozitástól is. A középső tag egyes esetekben igen bonyolult lehet, azonban néhány egyszerűbb összefüggésben meg sem jelenik. Az utolsó tag a legtöbb összefüggés esetén négyzetes ($n = 2$), de akadnak ettől eltérő kitevők is. Itt a leggyakoribb a 10%-os szemátmérő, $d_k = d_{10}$, de d_5 -től d_{50} -ig több változat is előfordul. Az átlagos vagy annál kisebb szemátmérőt az indokolja, hogy a vázszerkezet átjárhatóságát a kisebb pórusok mérete – azaz a kisebb szemcsék mérete – szabja meg. Végül, több módszer is nem egy adott szemátmérőt, hanem valamely, a szemeloszlás alapján meghatározható jellemző értéket vesz figyelembe, mint például:

$$d_k = \frac{d_{60} + d_{10}}{2} \sqrt{\frac{d_{10}}{d_{60}}}$$

Tekintettel arra, hogy mindezek tapasztalati összefüggések, használatuk során a mértékegységekre és az alkalmazási körükre különös figyelmet kell fordítani.

Az előzőekben említett *Hagen*-féle összefüggés is egy ilyen tapasztalati képlet, ahol az állandó $C = 36$, a közepső tag l és $d_k = d_{50}[\text{cm}]$, így a szivárgási tényező: $k[\text{cm/s}] = 36 \cdot (d_{50}[\text{cm}])^2$. A szerző az összefüggést $d = 0,28$ mm figyelembevételével, $C_U < 1,5$ esetére dolgozta ki.

A legtöbb szakkönyv, pl. *Kovács (1972)*, vagy *Juhász (2002)* több ilyen összefüggést tartalmaz és számtalan szakcikk valamint egyéb munka sorol fel különböző összefüggéseket, illetve adja meg egy-egy összefüggés többféle változatát. Ilyen például *Beyer* módszere, mely grafikusán, táblázattal és képlettel is fellelhető. Gyakran az eredeti források is megtalálhatók, de sokszor a többszöri hivatkozás, a latin és cirill betűs nevek átírása, a brit és a metrikus mértékegységek átváltása, vagy akár csak egyszerű sajtóhibák (pl. *Beyer* neve egyik szerzőnél *Breyer*-re változott) nehezítik meg használatukat. Sajnos jellemző, hogy lánchivatkozások esetén éppen az alkalmazhatóság köre marad le.

A nemzetközi szakirodalomban két olyan összefoglaló mű lelhető fel, melyek készítésük idején a teljességet megközelítő igénnyel éltek, a közölt adataik a lehetőségekhez mérten ellenőrzöttek, így megbízhatónak vehetők: *Vukovic* és *Soro* műve (*Vukovic és Soro 1992*) és *Kasenow* munkája (*Kasenow 2002*).

Végül külön említést érdemel *Devlin* tanulmánya (*Devlin 2015*), mely 15 módszert mutat be, értékkel, valamint közleményéhez a számítások megkönnyítésére *HydrogeoSieveXL* néven Excel-ben készült eszközt is mellékel, melynek emblémáját a 8. ábra mutatja. A szerző a programot folyamatosan fejleszti, mely jól követhető

honlapján: www.people.ku.edu/~jfdevlin/Software.html. A legújabb változat már 16 módszert tartalmaz, valamint pótol, illetve helyesbít néhány korábban észlelt hiányosságot, hibát.

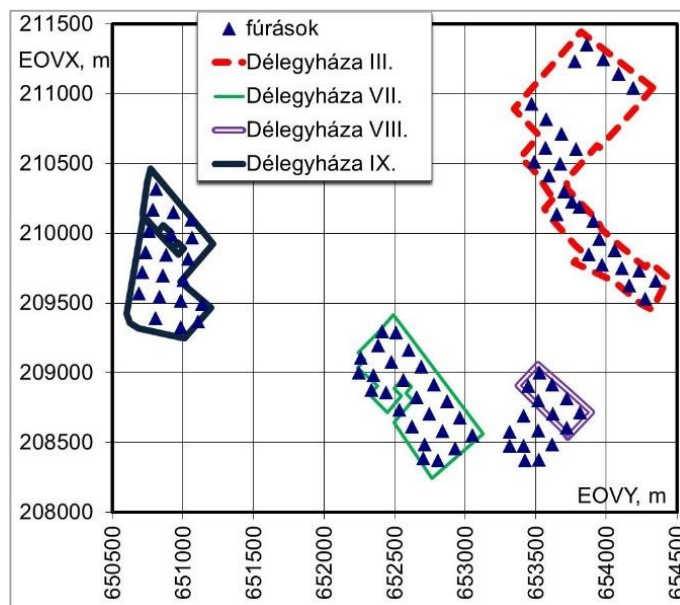


8. ábra. A *HydrogeoSieveXL* emblémája (www.people.ku.edu/~jfdevlin/Software.html)
Figure 8. The logo of *HydrogeoSieveXL* (www.people.ku.edu/~jfdevlin/Software.html)

VIZSGÁLATOK DÉLEGYHÁZA – KISKUNLACHÁZA TÉRSÉGÉBEN

A terület jellemzői

Az előzőekben leírt, a szemeloszláson alapuló k meghatározást egy Délegyháza környéki területen mutatjuk be. Itt négy bányatelken összesen 88 fúrást végeztek, melyet a 9. ábra mutat. A több, mint 10 km²-es területen egyes bányatelkek teljesen lefedik a megkutatott területet, míg másol a kutatás a bányatelken túlnyúlik. A 88 fúrásból néhol csak egy, de néhol több, akár három mintát is vettek, így összesen több, mint 150 szemeloszlási görbe állt a rendelkezésünkre. A görbék tartományát a két szélső görbével a 10. ábra szemlélteti. Látható, hogy a görbesereg jellemzően a finom homok-közepes kavics tartományt fedi le.

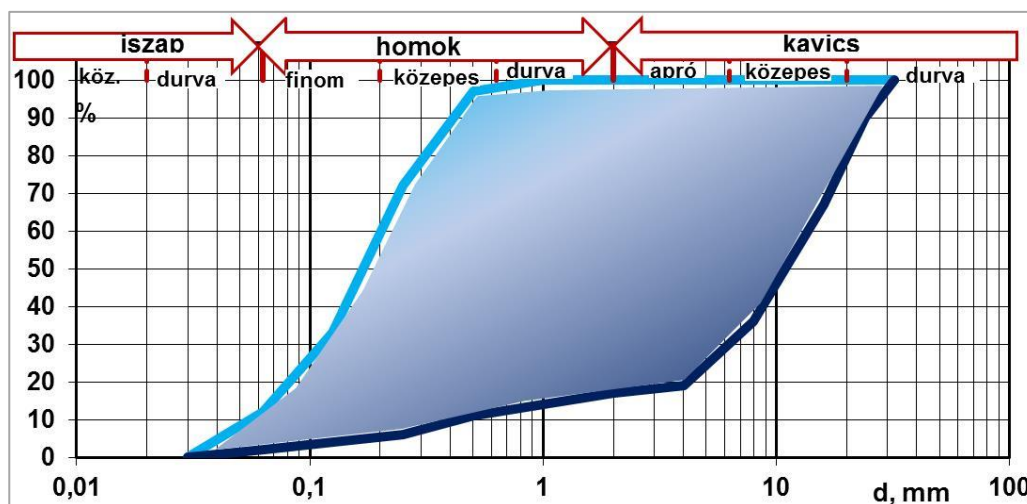


9. ábra. A vizsgált bányatelkek
Figure 9. The investigated mining lots

Ha egy-egy fúrás esetén több minta is a rendelkezésünkre állt, általában a felszínhez közelebbi, vékonyabb réteg inkább a finomabb homokos frakciót mutatta, így a szemeloszlási görbéje a 10. ábra bal oldali, meredekebb görbéjéhez hasonlított alacsonyabb egyenlőtlenégi mutatóval, míg az alsó, vastagabb réteg a laposabb, jobban graduált, nagyobb

egyenlőtlenégi mutatójú görbét adta. Ha csak egy minta volt, az általában az alsó, kavicsosabb réteget mutatta.

A minták néhány jellemző szemátmérőjének, valamint az egyenlőtlenégi mutatónak az átlagos és a szélsőértékeit a 2. táblázat tartalmazza.



10. ábra. A vizsgált szemeloszlási görbék tartománya
Figure 10. The region of the grain size distributions examined

2. táblázat. Jellemző szemátmérők (mm) és egyenlőtlenségi mutatók
Table 2. Characteristic grain sizes (mm) and uniformity coefficients

	d_{10}	d_{20}	d_{50}	d_{60}	$C_U = d_{60}/d_{10}$
max.	0,438	4,182	11,613	14,194	57,2
átlag	0,136	0,318	2,195	3,647	22,9
min.	0,058	0,087	0,179	0,212	2,3

A számítások és értékelésük

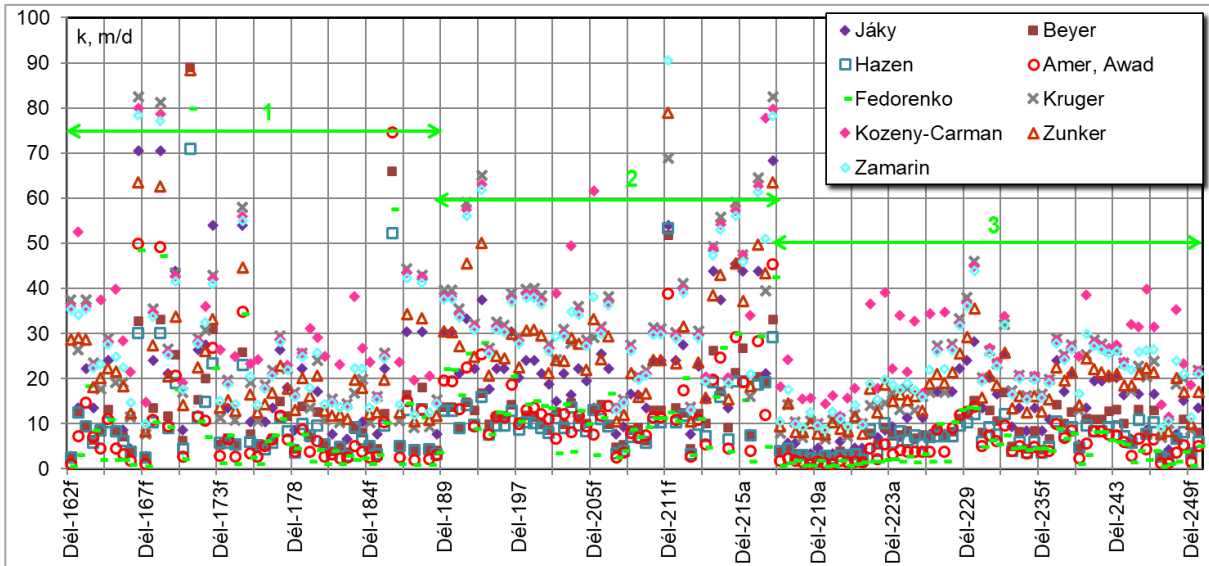
A területre a fenti 88 fúrás több, mint 150 szemeloszlási görbéje alapján többféle módszerrel határoztuk meg a szivárgási tényezőt. A módszerek közül mintegy 30 változatot a bőségesen rendelkezésünkre álló irodalom alapján, mint a hazai szakkönyvek (pl. Kovács 1972, Kézdi és Markó 1974, Juhász 2002), vagy szakcikkek (pl. Nagy 2008a, Nagy 2008b, Odong 2007), egyetemi jegyzetek (pl. Kammerer és Loislaindl 2008), disszertációk (pl. Vienken 2010), valamint a két alapvető mű (Vukovic és Soro 1992, Kasenow 2002) segítségével állítottunk össze. Minden összefüggést több forrásból is ellenőriztünk. Emellett minden egyes esetet a *HydrogeoSieveXL* program (Devlin 2015) eredeti változatának mind a 15 módszerével is végigszámoltuk. Bár a kétféle forrás néhol átfedésbe került, törekedtünk arra, hogy ha a program egy adott módszer egyik változatát vizsgálta, az előbbi összeállításba ugyanazon szerző másik változata kerüljön. Így minden szemeloszlási görbéhez összesen 45 szivárgási tényezőt kaptunk.

Ezen hatalmas adathalmaz első szűrője volt az, amikor a megadott alkalmazási feltételeknek az esetek zöme nem tett eleget. Ilyenek voltak általában a finomabb szemcsés, alacsony egyenlőtlenségi mutatójú talajokra kidolgozott, d_{50} -es szemátmérőt figyelembe vevő módszerek, mint a korábban is említett Hagen képlete. A következő szűrő az indokolatlanul magas (pl. 50 000 m/d), illetve alacsony (pl. 0,001 m/d) értékeket adó módszerek voltak. Ezek között akadt olyan, amely látszólag alkalmazható lett volna, de jónéhány olyan is, ahol az alkalmazhatósági kör bizonytalan volt. Volt azonban olyan módszer is, amely esetén még az alkalmazási körön kívül eső minták is elfogadható értékeket adtak. Végül addig tudtuk szűkíteni a módszerek számát, hogy összesen kilenc összefüggést tekintettünk alkalmazhatónak, ötöt a saját összeállítások, míg négyet a *HydrogeoSieveXL* program (Devlin 2015)

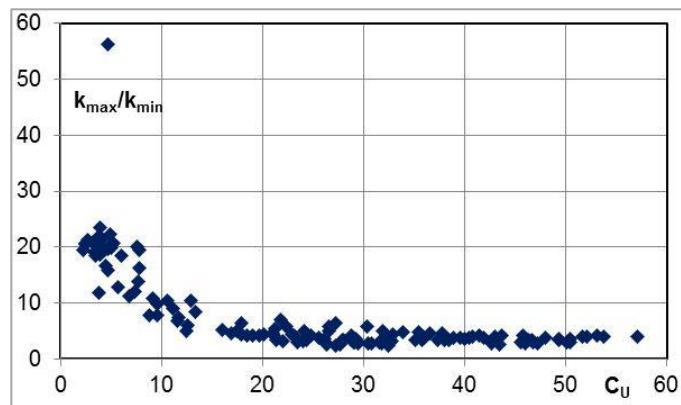
alapján. A végső kilenc változat szivárgási tényezőit mintákként a 11. ábra mutatja. Az ábra vízszintes tengelyén a fúrások jele és száma látható. Ha egy fúrásból több minta is rendelkezésünkre állt, a szám után az elhelyezkedését is megadtuk: f : felső, a : alsó.

Az első ránézésre kaotikusnak tűnő ábrát részletesebben megvizsgálva látható, hogy a minták zöme 1-40 m/d közötti szivárgási tényezőt mutat. Fedorenko módszere inkább az alacsonyabb, míg Koženy-Carman vagy Zamarin módszere inkább magasabb értékeket ad. A Dél-162 ... Dél-189 fúrások értékei alacsonyabbak, de meglehetősen szórnak, melyet az ábrán a zölddel jelölt 1. szakasz mutat. A Dél-190 ... Dél-217 fúrások némileg magasabbak (zöld 2. szakasz), míg a többi (zöld 3. szakasz) kissé alacsonyabb és a módszerek között is kisebb az eltérés. A kapott értékek területi átlaga 10-28 m/d, módszertől függően. A négy bányatelek átlagos értékei a következők: Délegyháza III: 21 m/d, Délegyháza VII: 22 m/d, Délegyháza VIII: 17 m/d, Délegyháza IX: 15 m/d. Amennyiben a finomabb homokos felső réteget az átlagolásból kihagyjuk, a bányatelkek átlagos értékei általában magasabbak lesznek: Délegyháza III: 27 m/d, Délegyháza VIII: 20 m/d, Délegyháza IX: 17 m/d. Ez alól egy kivétel van, Délegyháza VII, ahol az érték 20 m/d-ra csökken.

Az egyes minták esetén a kilenc módszerrel kapott legnagyobb és legkisebb szivárgási tényezők arányát (k_{max}/k_{min}) az egyenlőtlenségi mutató függvényében a 12. ábra mutatja. Látható, hogy az arány – egy mintától eltekintve – 25 alatti, azaz ha az 1. táblázat szélső értékeit is figyelembe vesszük, a kiválasztott módszerek adott talaj-nemen belüli értékeket adnak. Szembetűnő, hogy a szélső értékek aránya valamely hatványfüggvény-szerű kapcsolatot mutat.



11. ábra. Számított szivárgási tényezők fúrásoként
Figure 11. Calculated hydraulic conductivities of each boreholes



12. ábra. A legnagyobb és legkisebb szivárgási tényezők aránya az egyenlőtlenségi mutató függvényében mintáinként
Figure 12. The ratio of the highest and lowest permeabilities of each sample as a function of the uniformity coefficient

A javasolható összefüggések

A következőkben a fenti vizsgálatok alapján a területre javasolható összefüggéseket értékeljük pár szóban.

1. Jáky (Kovács 1972): $k[\text{cm/s}] = 100 \cdot (d_{10}[\text{cm}])^2$. Az egyik legegyszerűbb összefüggés. Bár egyéb területeken több kritika is érte, itt megbízhatónak bizonyult.
2. Beyer (Vienken 2010):
$$k[\text{m/s}] = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{g}{v} \lg\left(\frac{500}{C_U}\right) (d_{10}[\text{m}])^2$$
ha $1 < C_U < 20$ ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$ a nehézségi gyorsulás, $v = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a kinematikai viszkozitás). Bár a módszer javasolt alkalmazhatósága szűkebb, $C_U > 20$ -as egyenlőtlenségi mutatóval is elfogadható értéket adott.
3. Hazen (Kammerer és Loislaindl 2008): $k[\text{cm/s}] = 0,449 \cdot [1 + 10(n - 0,26)] \cdot (d_{10}[\text{mm}])^2$ ha $T = 10^\circ\text{C}$. Régi, jól bevált és viszonylag egyszerű összefüggés.
4. Amer és Awad (Nagy 2008a): $k[\text{m/s}] = 3,5 \cdot 10^{-2} \cdot C_U^{0,6} \cdot \frac{e^3}{1+e} (d_{10}[\text{mm}])^{2,32}$ kohéziómentes talajokra. Az egyedüli módszer, ahol a szemátmérő a négyzetnél magasabb hatványra került. Néha, különösen magasabb

d_{10} esetén kissé túlzó értéket ad.

5. Fedorenko (Nagy 2008a): $k[\text{cm/s}] = A \frac{n^3}{(1+n)^2} \cdot (d_m[\text{mm}])^2$ ahol $d_m = \frac{d_{60} + d_{10}}{2} \sqrt{\frac{d_{10}}{d_{60}}}$, $A = 4$ finom homokra és $A = 5,3$ durva homokra. Viszonylag alacsonyabb, de nem irreális értékeket ad.
6. Krüger (Devlin 2015): $k[\text{cm/s}] = 4,35 \cdot 10^{-3} \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot (d_m[\text{cm}])^2$ ahol $d_m = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta w_i}{d_i}}$ (Δw_i a minta i -edik frakciójának súlya) közepes homokra, $C_U > 5$. A d_m mértékadó szemátmérő meghatározása bonyolult.
7. Kozeny-Carman (Devlin 2015):
$$k[\text{cm/s}] = 8,3 \cdot 10^{-3} \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot (d_{10}[\text{cm}])^2$$
 durva homokra. Viszonylag magas, de nem irreális értékeket ad.
8. Zunker (Devlin 2015): $k[\text{cm/s}] = A \frac{n}{1-n} \cdot (d_m[\text{cm}])^2$, $A = 0,7 \cdot 10^{-3} \dots 2,4 \cdot 10^{-3}$ talajmentől függően, a mértékadó szemátmérő $d_m = \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} \Delta g_i \frac{d_i^g - a_i^d}{d_i^g \cdot a_i^d \cdot \ln \frac{d_i}{a_i^d}}}$. (Δg_i a minta i -edik frakciójának tömege, d_i^g és d_i^d a frakció

legnagyobb és legkisebb átmérője). A d_m meghatározása igen bonyolult.

9. *Zamarin (Devlin 2015)*:

$$k[\text{cm/s}] = 8,65 \cdot 10^{-3} \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot (1,275 - 1,5n)^2 \cdot$$

$(d_m[\text{cm}])^2$ valamint a mértékadó szemátmérő $d_m = \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta g_i \frac{a_i^g}{a_i^d}}{a_i^g - a_i^d}}$. Ennek meghatározása igen bonyolult.

A 6., a 8. és a 9. módszer összetett d_m mértékadó szemátmérője jelen minták esetén a számítások során komolyabb előnyökkel nem szolgált.

A szivárgási tényező felhasználása modellkalibráláshoz

A fenti módon meghatározott szivárgási tényezők alkalmazhatók becslésekhez, egyszerűbb számításokhoz, de alapadatot szolgáltathatnak összetettebb numerikus modellekhez is.

Numerikus modellek esetén a szivárgási tényező igen gyakran a modell kalibrálási paramétere is. Kalibrálás során a kalibrálási paramétert (vagy paramétereket) addig változtatjuk, amíg egy előre ismert hidraulikai állapotot a modell elfogadható mértékben meg nem közelít. Ezekben az esetekben kétféle gondolatmenetet követhetünk.

Egyrészt elfogadhatjuk az előző pontok szerint kapott szivárgási tényezőket és a modell kalibrálását valamely más paraméterrel (pl. fekvőszint, háttéráramlás stb.) végezzük.

A másik lehetőség, ha a fent kapott értékeket a kalibráláshoz kezdő értéknek tekintjük és az előbb említett, kalibrálásra alkalmazható jellemzőkkel együtt addig módosítjuk az adatrendszer, míg a modell a kalibrálandó állapotnak tekintett értéket adott hibahatáron belül meg nem közelíti. Ezen utóbbi esetben is célszerű azonban szem előtt tartani azt, hogy a fent meghatározott értékektől jelentősen – nagyságrendekkel – ne térjünk el, hiszen azzal a vizsgált területre más talajféleségeket feltételezünk, esetleg más fizikai és hidraulikai tulajdonságokkal. Ugyanakkor a kalibrációval olyan hatásokat is figyelembe veszünk, melyet egyéb módon (pl. az alapegyenlettel) nem lehet.

Jó példa erre a számításokhoz vizsgált négy bányatelek, ahol eltérő években eltérő célokkal különböző vizsgálatokat végeztünk. Ennek megfelelően kellett az egyes célokhoz felállított modelleket kalibrálni. A különböző feladatokhoz azonban egységesen az előző fejezetben kapott értékek adták az alapot, és a kalibrálás során a fent említett második lehetőség szerint jártunk el, azaz kiindulási értékek tekintettük.

A munkánk során a kalibrált értékek szinte mindig kissé magasabbra adódtak a kiindulási értékeknél, a fenti bányatelek esetén $k = 40\text{--}55$ m/d adta a leginkább megfelelő egyezést a kalibrálandó állapothoz képest. Az így kalibrált modellek szinte minden esetben a validáció során is elfogadható értékeket adtak.

ÖSSZEFOGLALÁS

Kavicsbányatavak környezetében a tó hatása lecsökkenő talajvízszintekben mutatkozik meg. A hatás becslésére végzett egyszerűbb vagy összetettebb számítások alapvető paramétere a szivárgási tényező, mely a műszaki-földtani gyakorlat egyik legnehezebben meghatározható mennyisége.

Fentiekben bemutattuk a paraméter főbb jellemzőit, meghatározásának módját és részletes érzékenység-vizsgálattal igazoltuk jelentőségét. Bár a számításokat a Duna-Tisza köze északnyugati részén levő bányaterületek jellemzőivel végeztük el, nem egy konkrét bányateleket vizsgáltunk, hanem minden egyéb hatástól mentesítve csak a tó-talajvíz lokális kapcsolatot igyekeztünk feltárni. Így az egyszerű számítások során sem a Gödöllői-dombság felől érkező háttéráramlás, sem a Ráckevei (Soroksári)-Duna szabályozott vízszintjének a hatását, sem egyéb tényezőket nem vettünk figyelembe. Az így leegyszerűsített állapotban szépen megmutatkozik a szivárgási tényező hatása mind a talajvízszintekre, mind pedig a jelenség időbeli lefolyására.

Külműveléses kavicsbányák esetén a legkézenfekvőbb módszer a szivárgási tényező meghatározására a szemeloszlási görbék alapján tapasztalati összefüggések alkalmazása, mivel a hatásvizsgálatokat szinte minden esetben megelőzi a terület részletes feltárása. A tapasztalati összefüggések túlzottan széles tárháza azonban gyakran elbizonytalanítja a használóját. Sokéves tapasztalat nyomán jelen tanulmány ebben kíván segítséget nyújtani. Az előzőekben bemutatott számítások és a korábbi vizsgálatok nyomán összefoglalásként az alábbiak állapíthatók meg:

- Tapasztalati összefüggések esetén a mértékegységekkel és az alkalmazási körrel igen gondosan kell eljárni.
- A d_{10} -es szemátmérőnél nagyobb (pl. d_{50}) szemcseméretet alapul vevő módszerek jelen vizsgálatok során a homok-kavics frakciók vizsgálatára nem bizonyultak alkalmasnak.
- A vizsgálatok során a 30 + 15 módszerből fennmaradt 9 összefüggés bármelyike jól alkalmazható jelen talajnemekre.
- A Jáky-féle összefüggés egyszerűségével akár fejszámolásra – becslésre –, akár kiterjedtebb számításra is jól használható.
- A Jáky-féle összefüggés kivételével minden módszer figyelembe veszi a szemszerkezetet az egyenlőtlenégi mutatóval, a porozitással vagy a hézagtenyezővel.
- A d_{10} -es szemátmérőt használó módszerek megbízhatóak és viszonylag könnyen kezelhetőek.
- Az összetett mértékadó szemátmérő jelen talajok esetén a számítások során jelentősebb előnyöket nem ad, ugyanakkor a számítás lényegesen bonyolultabb.

Végezetül ismételtelen hangsúlyozzuk, hogy célszerű lenne a hatásvizsgálatokat néhány, jól megválasztott helyen helyszíni méréssel, például próbaszivattyúzással megalapozni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen munka a *XIII. Kő- és kavicsbányász Napok* programjában 2020. március 5-én Velencén elhangzott előadás szerkesztett változata. A szerző köszönetét fejezi ki a szervező Szilikátipari Tudományos Egyesület Kő- és Kavics Szakosztályának, valamint az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület Bányászati Szakosztályának azért, hogy a közelgő járvány ellenére, bő egy héttel az országos zárás előtt a konferenciát még megtartották.

IRODALOMJEGYZÉK

Devlin, J.F. (2015). HydroGeoSieveXL: an Excel-based tool to estimate hydraulic conductivity from grain-size analysis. *Hydrogeology Journal* vol. 23. Issue 4. pp. 837-844. <https://doi.org/10.1007/s10040-015-1255-0>

Farkas D., Farkas-Karay Gy., Hegedűs N. (2019). Szivárgási tényező laboratóriumi meghatározása szemeloszlási görbe és kisminta-modell felhasználásával. *Hidrológiai Közlemények*, 99. évf. 4. sz. pp. 42-51.

J. F. Devlin Software
<http://www.people.ku.edu/~jfddevlin/Software.html>

Juhász J. (2002). *Hidrogeológia*. Akadémiai Kiadó, Budapest. p. 1176.

Kammerer, G., Loiskaindl, W. (2008). *Bodenphysik*. Universität für Bodenkultur Wien.

Kasenow, M. (2002). Determination of hydraulic conductivity from grain size analysis. *Water Resources Publications*, Highlands Ranch, CO, USA

Kézdi Á., Markó I. (1974). *Földművek. Víztelenítés*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. p. 298.

Kovács Gy. (1972). *A szivárgás hidraulikája*. Akadémiai Kiadó, Budapest. p. 535.

Mézői Kézikönyv (1981). Mézői Kézikönyv 1.

kötet. szerk: Palotás L. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. p. 926.

Mézői Kézikönyv (1957). Mézői Kézikönyv 2. kötet, szerk: Palotás L. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. p. 1042.

MSZ 15221 (1969). *Vízépítés. Szivárgások vizsgálata építményeket határoló talajrétegekben*.

Nagy L. (2008a). Finomszemcsés talajok áteresztőképessége. *Közúti és Mélyépítési Szemle* 58. évf. 5-6. sz. pp. 33-40.

Nagy L. (2008b). Jól graduált talajok áteresztőképességi együtthatója. *Közúti és Mélyépítési Szemle* 58. évf. 8. sz. pp. 23-27.

Odong, J. (2007). Evaluation of empirical formulae for determination of hydraulic conductivity based on grain-size analysis. *Journal of American Science*, 3(3). pp. 54-60.

Tompa L. (1982). *A kavicsbányászat története Magyarországon. Földtani Kutatás XXV. évf. 2. sz. pp. 69-76.*

Varga I., Csoma R. (1995). *Környezeti áramlástan. Felszíni és felszín alatti vízterek. Tanszéki sokszorosítású előadási jegyzet*. Budapesti Műszaki Egyetem Vízépítési Tanszék

Vienken, Th. (2010). Critical evaluation of vertical high resolution methods for determining hydraulic conductivity. *Dissertation*. Eberhard Karls Universität Tübingen.

Vízrajzi Atlasz 11. kötet (1971). *Duna. Vízrajzi Atlasz 11. kötet. Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet*. Budapest.

Vukovic, M., Soro, A. (1992). Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition. *Water Resources Publications*, Littleton, Colorado, USA

A SZERZŐ



CSOMA RÓZSA okleveles építőmérnök (1985). PhD (2007) értekezésének címe: „Szabályos és szabálytalan alakú analitikus elemek a talajvízmozgás modellezésére”. A BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének egyetemi docense. Oktatott tárgyai az alap-, mester-, doktori és szakmérnöki képzésben a Hidraulika, Vízépítés, Felszín alatti vizek, valamint ezek speciális fejezetei (legtöbb tárgy angol, az alaptárgyak német nyelven is). Több, mint 110 diplomatervező konzulense. Kutatási területe a szivárgás- és talajvízhidraulika, valamint a műtárgyhidraulika terén áramlási és transzportfolyamatok félanalitikus és numerikus modellezése. 1983 óta tagja a Magyar Hidrológia Társaságnak (MHT), mely 2021-ben Pro Aqua díjban részesítette. Diplomatervezői az MHT Lászlóffy Woldemár diplomamunka pályázatán mintegy 10 díjat nyertek.

Nagyfelbontású Repülőgépes Monitoring Hálózat módszertanának alkalmazása nádas mintaterületen, a tihanyi Külső-tavon

Demény Krisztina*, Bakó Gábor**, Molnár Zsolt**, Molnár András*, Vers József***

*Óbudai Egyetem (e-mail: demeny.krisztina@rkk.uni-obuda.hu)

**Interspect Kft.

***Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság

DOI:10.59258/hk.13175



Kivonat

A természetközeli ökoszisztémák a kis változásokra azonnal és érzékenyen reagálnak. Az antropogén hatások növekedésével párhuzamosan az élőhelyek mozaikossága is fokozódik, ami az élőhelyek állapotromlásához vezethet. Éppen ezért a vizes területek megőrzésére, védelmére, fenntartására kiemelkedő hangsúlyt kell fektetni. A Nagyfelbontású Repülőgépes Monitoring Hálózat (NRMH) alkalmas a változások követésére, így a nád monitorozására is. A módszer fejlesztését a táj térszerkezetében végbemenő gyors változások indokolták. A változásokra való reagálás igénye a nehezen megközelíthető terepen megtalálható területek gyors és költséghatékony felmérését tette szükségessé. A szubcentiméteres (centiméter alatti felbontású) részletességű ortofotók kis, pár négyzetkilométeres területek térképezését teszik lehetővé gazdaságosan, így a tájrészletek ilyen mélységű értékelése mintaterületek kijelölésével oldható meg. A tihanyi Külső-tó területének felszínborítása jelentős változásokon ment keresztül az elmúlt években, a tó felszínének jelentős részét az egybefüggő nádas foglalja el. Az NRMH vizes élőhelyekre vonatkozó felszínborítási kategóriarendszere hat új kategóriával bővült a tó vizsgálatán keresztül.

Kulcsszavak

NRMH, vizes élőhely, Külső-tó, Tihany, távérzékelés, ortofotó, modell, monitoring.

Using High-Resolution Aerial Monitoring Network methodology in a reed sample area on the Outer Lake of Tihany

Abstract

Semi-natural ecosystems respond immediately and sensitively to small changes. As the anthropogenic effects are increasing, habitat mosaicism increases, which can lead to habitat degradation. For this reason, the conservation, protection and maintenance of wetlands should be a priority. The High-Resolution Aerial Monitoring Network (HRAMN) is capable of monitoring changes, including reed monitoring. The development of this method was justified by the rapid changes in the spatial structure of the landscape. The need to respond to these changes has necessitated the rapid and cost-effective survey of areas that are difficult to survey in difficult terrain. Orthophotographs with sub-centimetre detail allow the mapping of small areas of a few square kilometres economically. The land cover of the Outer Lake of Tihany has changed significantly in recent years, with homogeneous reed covering a large part of the lake surface. Six new categories have been added to the HRAMN wetland category system using the example of the lake.

Keywords

HRAMN, wetland, Outer Lake of Tihany, remote sensing, orthophoto, model, monitoring.

BEVEZETÉS

A térinformatika és a légi távérzékelés fejlődésével egy-egy mintaterület alapállapotának rögzítése egyre nagyobb területen, egyre nagyobb geometriai pontossággal, egyre megbízhatóbb információtartalommal és részletesebb felmérési tematikával készülhet el, választ adva olyan változások okaira, amelyek klasszikus (deciméteres terepi felbontású) léptékben nem voltak értelmezhetők. „Hogyan is értékelhető a változás” *Kertész (2010)* szerint a legkisebb változás, módosulás is a tájat alakító tényező jelének tekinthető. A légi távérzékelés során készült felvételek és háttéradatbázis alkalmazásával lehetővé válik számos környezet- és természetvédelmi probléma feltárása, elemzése, a helyreállítást követően monitorozása, ahogy a közlemény témájául választott vizes élőhely vizsgálata is. Mivel a centiméteres részletességű légi felméréshez deciméteres geometriai pontosság társul, nem csupán az új lehetőségek jelennek meg az elemzésekben, de a korábban

elvégezett adatgyűjtések térbelisége is javul a nagyfelbontású távérzékelés által, javítva a különböző években lezajlott vizsgálatok eredményeinek statisztikai egybevetetőségét.

Rakonczay (2002) besorolása szerint – mely a védett területek művelési ágait természetvédelmi szempontból rangsorolja – a vízfelületek, a vizenyős területek (tavak, mocsarak, fertők, lápok, vízfolyások) számítanak a legérzékenyebb területeknek, ami azt is jelenti, hogy minden átalakulásra azonnal reagálnak, éppen ezért rehabilitációjuk is hosszú és költséges folyamat. A vizes élőhelyek érzékenyen válaszolnak a klímaváltozásra is, a napjainkra egyre inkább jellemző gyorsan lezajló (havária jellegű) intenzív esőzésekre, extrém csapadékhelyzetekre (*Czigány és társai 2010, Konecsny 2015, Berényi és társai 2021*), melyek az erózió fokozódásában is szerepet játszanak. Emellett a biológiailag kiemelt fontossággal bíró vizes élőhelyek tekintetében is igaz, hogy a környező antropogén beavatkozások erősen befolyásolják az élet-

közösség állapotát. A Külső-tó is biológiailag kiemelt jelentőségű, mivel a környező területekről már eltűnt értékes fajok – mint pl. a hermelin (*Mustela erminea*), a menyét (*Mustela nivalis*), a vidra (*Lutra lutra*) – egyik utolsó menedéke. A vizes élőhelyek visszaszorulása egyre jelentősebb, az ország különböző területein egyaránt releváns folyamat (Szabó M. és társai 2004, Szabó B. és társai 2011, Demény és Centeri 2012, Uj és társai 2015).

A térinformatika és a légi távérzékelés nemcsak a részletesebb, pontosabb elemzéseket teszi lehetővé, hanem alkalmas a nehezen járható és megközelíthető területek térképezésére, így az 1970-es évektől hazánkban a vizes élőhelyek felmérésében is egyre hangsúlyosabbá váltak az ilyen irányú vizsgálatok. Mivel az új, nagyfelbontású eljárás már számos terepi ellenőrző bejárást is kivált, kevésbé zavarja az élővilágot, így természet terhelési szempontból is előnyösebb az alkalmazása a sávos terepbejárást igénylő módszereknel. Alapvető fontosságú a mocsári vegetáció tanulmányozása, hiszen fontos szerepe van a vizek öntisztulásában, továbbá az emberi beavatkozás mértékére is lehet következtetni két időpont közötti összehasonlító elemzéssel, vegetációtérképezéssel, mely lehetőséget adhat a társulásszerkezet változásának nyomon követésére is. A Balaton, a Kis-Balaton és Velencei-tó nádasainak dinamikája széles körben kutatott, térképezett (Dömötörfy és Pomogyi 1997, Fülöp és társai 2006, Zlinszky és társai 2011, Kozma-Bognár és társai 2015, Gyenese és társai 2019).

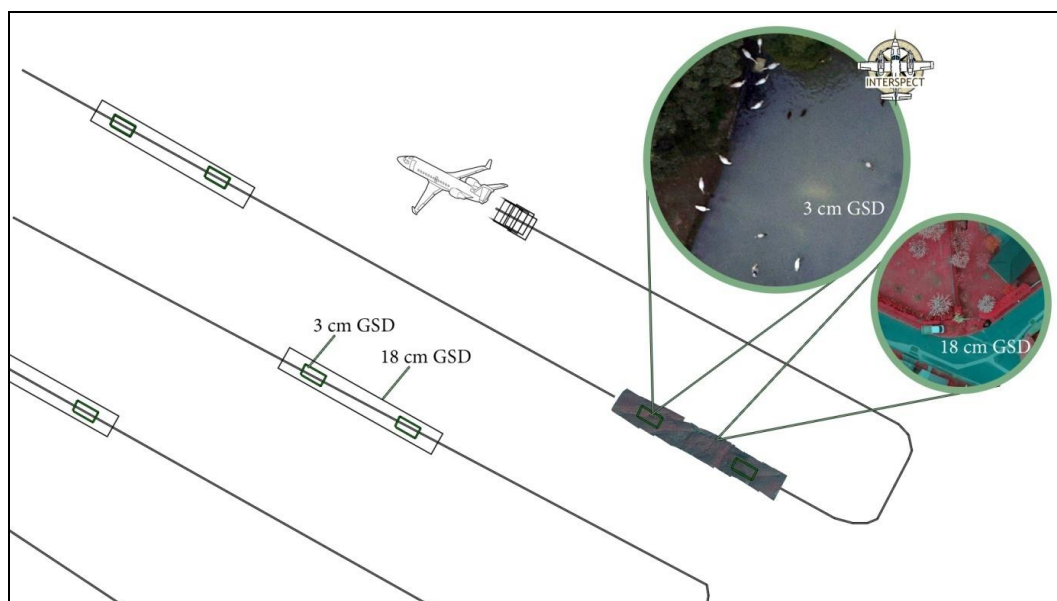
A vízi- és mocsári ökoszisztémák meghatározó élőhelye a nádasok, ezért különösen fontos a minőségük. Az Európai Unió egységes víz politikája, a 2000/60/EGK Víz Keretirányelve (VKI) is a felszíni és felszín alatti vizek állapotának megőrzését, a vizek jó állapotának elérését célozza meg, melynek végrehajtása több ország koordinációjával valósulhat meg vízgyűjtők szintjén (Internet1). A VKI újszerűségét az ökológiai szemlélet adja, a felszíni vizek VKI szerinti állapotértékelése és minősítése az egyik pillére az ökológiai állapot osztályozásának. A VKI monitoringja előírja a felszíni vizek makrofita minősítését is, a hazai szabályozás (22/1998. (II. 13.) Korm. rendelet) alap-

ján a Balaton és a Velencei-tó esetén a nádtérképezést öt évenként el kell végezni. Pomogyi és társai (2007) vizsgálták, hogy a VKI szerinti makrofita minősítés (Pomogyi és Szalma 2006) során mennyire alkalmazható a hazai nádmínősítés. Következtetésük szerint a hazai nádas minősítésben használt terepfelmérési jegyzőkönyvek jól illeszkednek a VKI minősítésre is javasolt jegyzőkönyvhöz, csupán néhány kisebb kiegészítés szükséges.

NAGYFELBONTÁSÚ REPÜLŐGÉPES MONITORING HÁLÓZAT

A Nagyfelbontású Repülőgépes Monitoring Hálózat (NRMH, angolul High Resolution Aerial Monitoring Network, HRAMN) műszaki alapjait az Interspect Kft. dolgozta ki (Bakó és társai 2021) 2008 és 2018 között. A monitoring hálózat kiépítése 2018-ban kezdődött meg 15 mintaterületen, ami folyamatosan bővült 220 országosan elszórt vizsgálati területre (Bakó 2019b, Internet2). A mintaterületek kijelölésében a nemzeti parkok, természetmegőrzési intézmények, ökológiai és erdőgazdasági kutatóintézetek voltak a szervezők segítségére, mert a mintavételi helyszínek megfelelő kiválasztása kulcsfontosságú a monitoring hálózat működésének sikeréhez (Molnár és Góber 2020). A monitoring hálózat fejlesztése során fontos elv volt a zavarásmentes műszaki megoldások kidolgozása, az interdiszciplináris kiértékelés és a gyakorlatorientált, terepen is könnyen alkalmazható szempontrendszer kidolgozása, mely választ kínál a környezet-, a táj- és a természetvédelem kérdéseire, egyben információkkal látja el a döntéshozókat (Bakó 2019a).

A távérzékelés gyors fejlődésével a kis- és közepes felbontású felvételek alkalmazása mellett az extrém nagyfelbontású légi felmérések is költséghatékonyak és könnyebben hozzáférhetőek lettek. A szubcentiméteres részletességű ortofotók kis, pár négyzetkilométeres területek térképezését teszik lehetővé gazdaságosan. Az eljárás lényege, hogy 0,5-5 cm terepi felbontású ortofotókat rögzítve és háromdimenziós pontfelhőket létrehozva részletes felvételek készíthetők a vizsgált területekről (1. ábra) (Bakó 2019a, Bakó és társai 2021).



1. ábra. A költséghatékony nagy terepi felbontású monitoring rendszer kezdeti elve (Bakó 2019a)

Megjegyzés: A GSD a terepi felbontást fejezi ki

Figure 1. Initial principle of a cost-effective High Resolution Aerial Monitoring Network (Bakó 2019a)

Note: The GSD expresses the spatial resolution

Az NRMH alkalmazási területe széleskörű, különböző szakterületek számára idősoros változásokövető térinformatikai adatbázis hozható létre. Kitűnően alkalmazható a hidrológia területén is aszimmetrikus kanyarulatok mintázatának nyomon követésére; források átrendeződésének, mederváltozások okainak vizsgálatára; eróziós változások megállapítására; ezek mellett lombkoronaszintű vegetációtérképezésre, madárállomány, vagy akár mesterséges objektumok, műtárgyak működési hatásfokának térképezésére. Kulcsfontosságú, hogy mikor megy végbe a légi felmérés és a terepi adatgyűjtés, így például a faállományról vagy egy terület hidrogeológiai állapotáról erdei környezetben meglepő módon a téli időszakban készült felvételekből szerezhető több információ. A légi felmérésből származó térbeli információkat minden esetben terepi felmérés egészíti ki a minél pontosabb és ellenőrzött elemzés elvégzése érdekében (Bakó 2019a, Bakó 2019b, Bakó és társai 2021, Pácsonyi és Bakó 2022, Pinczés 2023, Pácsonyi 2023).

Közepes és nagysebességű merevszárnyú légi járműveket alkalmaznak a felvételezések során, melyek 800 m feletti magasságból készítene 0,5 cm terepi felbontású, fotogrammetriai módszerrel feldolgozható képeket (2. ábra). A 800 m magasság esetén a repülőgép nem zavarja az emlősöket és a madarakat. A nagysebességű merevszárnyú repülőgépek segítségével nagy, 0,5-5 cm terepi felbontású, hézagmentes ortofotók készíthetők. Ezek költségghatékonyabbak és gyorsabbak, mint a kis sebességű légi járművek, mert az időegység alatt így felmérhető területek száma több mint ötszörös, és a felvételezés során kevésbé változik a besugárzás, a felvételek egységesebbek, például populációbecslés esetében az állatok nem vándorolnak nagy távolságokat a felvételezés alatt (Bakó és társai 2020). Ehhez képest a kisméretű pilóta nélküli repülőeszközök (mikro UAV: pilóta nélküli légi jármű) alkalmazása korlátozottabb, leginkább kis kiterjedésű és azonnali felmérést igénylő területeken kapnak szerepet (Bakó 2019a, Molnár és Góber 2020).



2. ábra. Centiméter felbontású ortofotó részlet (Internet3)
Figure 2. Detail of centimetre resolution orthophoto (Internet3)

ANYAG ÉS MÓDSZER

A tihanyi Külső-tó

A tihanyi Külső-tó Marosi és Somogyi (1990), valamint Dövényi (2010) kistáj tipizálása szerint a Dunántúli-dombság nagytáján belül a Balatoni-medence középtájhoz tartozik és a Balatoni-Riviéra kistáj része. A Tihanyi-

félsziget északi részén helyezkedik el. Mérsékelt meleg - mérsékelt száraz éghajlatú terület, az évi középhőmérséklet Tihany körzetében 10,7 °C. A Tihanyi-félszigettől ÉK-i irányban az ariditási index nő (1,17-től 1,20-ig), míg DNy-ra csökken (1,17-től 1,10-ig). A terület a kultúrtáj példája, jórészt erdős-sztyepp övezetbe tartozik, és a kistáját a déli, szubmediterrán jellegű fajok magas aránya jellemzi (Dövényi 2010).

A Tihanyi-félsziget víztani jelentőségét a Belső- és Külső-tó, valamint a Rátai-csáva adja. A Rátai-csáva időszakos tó, a tó medre csapadékosabb években töltődik fel, a három depresszió közül a legmagasabb helyzetben lévő. A kutatás alapjául választott Külső-tó a legalacsonyabb helyzetben lévő, sekély, erősen feltöltődött tó. A tó mély fekvéséből adódó különlegessége – mely hozzájárult a tó hosszú időn át tartó fennmaradásához is –, hogy úgynevezett hideg légtó (Futó és Vers 2014). Kialakulását tekintve maar szerkezetű, miocén korú freatomagmás vulkanizmus eredményeképpen alakult ki (Németh és társai 2001). A Külső-tó vízutánpótlásáról sokáig úgy gondolták, hogy kizárólag csapadékvízből származik, sem forrás, sem patak nem táplálja (Vers 2002). Újabb hidrogeológiai kutatások viszont alátámasztották, hogy a félsziget tavai felszín alatti hidraulikai, vízkémiai összeköttetésben állnak egymással (Havril és társai 2013). A tihanyi Külső-tó jelenleg kiemelkedő, országos védelem alatt álló vizes élőhely. A terület felszínborítása, területhasznosítása, a nyílt vízfelület aránya az évszázadok folyamán többször változott (Dömötör 2011, Futó és Vers 2014).

Légi felmérés

A légi felmérések az engedélyeztetés (10 évre szóló természetvédelmi engedély, nemzeti park hozzájárulása, honvédelmi távérzékelési engedély stb.) alapján repülőgépekkel, illetve UAS (pilóta nélküli légi rendszer) technológiával, általában autonóm, előre programozott nyomvonalak mentén mennek végbe. A releváns információk kinyerése egyes területeken RGB csatornákon, máshol multispektrális (UV, R,G,B, Nir1, Nir2, Redge, termális csatornákon) felvételezéssel történik. A lerepülés után, ha szükséges a terepi geodéziai felmérést követően laboratóriumi fotogrammetriai feldolgozás során légi háromszögeléssel ortofotók, majd ezekből ortofotó-mozaikok, digitális domborzat, illetve digitális felületmodell, színes pontfelhő készül. A felsorolt termékeken kerül interpretálásra a vektorgrafikus céltérkép, amely egy teljes területfedéses, hézagmentes folttérkép. Utóbbit a terepi kutatók a mobil eszközeiken (tablet, telefon) alkalmazzák, nem csak tájékozódásra, de a foltokat kijelölve a helyszínen kiegészítik azokat a felvett adatokkal. Ezek jellemzően a távérzékeléssel nem, vagy csak nehezen, bizonytalanul gyűjthető plusz információk, például takarásban lévő aljnövényzet fakészlete. Egyúttal ellenőrzésre kerülnek a távérzékeléssel becsült adatok is. Ez a kettős iteráció nagyságrendi javulást eredményez a monitoring jellegű adatgyűjtés megbízhatóságában.

A nagy terepi felbontású RGB téli lerepülésre 2023. január 25-én került sor. A Külső-tó termális szenzorral történő lerepülése során 640 pixel széles boloméret használtak forgószárnyas UAS-ra építve.

Felszínborítási térkép elkészítése

A következő lépés a tihanyi Külső-tó felszínborítási térképének előállítás, a részletes kategóriarendszer meghatározása volt. Az alkalmazott RGB ortofotót az Interspect Kft. 2023. január 25-én készítette a Balaton-Felvidéki Nemzeti Park (BFNP) támogató jelenlétében (3.

ábra). A felvétel 2,85 cm terepi felbontású. 2023. február 23-án, két órával a teljes napnyugta után a Külső-tó termális szenzorral történő lerepülése is megtörtént. A vizsgált terület vektorgrafikus foltterképének elkészítése a QGIS 3.28. (Quantum Geographical Information System - Földrajzi Információs Rendszer) program használatával készült.



3. ábra. A tihanyi Külső-tó Interspect Kft. által készített ortofotó részlete (Fotó Interspect, 2023.01.25.)
Figure 3. A section of the orthophoto of Outer Lake of Tihany (Photo by Interspect Ltd., 25.01.2023.)

Az NRMH módszertanát alapul véve a fedvények elkészítése során alkalmazott jelrendszernek 9 fő kategóriája van (Internet4). A jelrendszer és az alkalmazott színskála újabb és újabb területek hálózatba történő becsatolásával fejlődik. A kutatás azt vizsgálta melyek a releváns kategóriák az adott nádas esetén.

EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A tihanyi Külső-tó hőtérképes felmérése

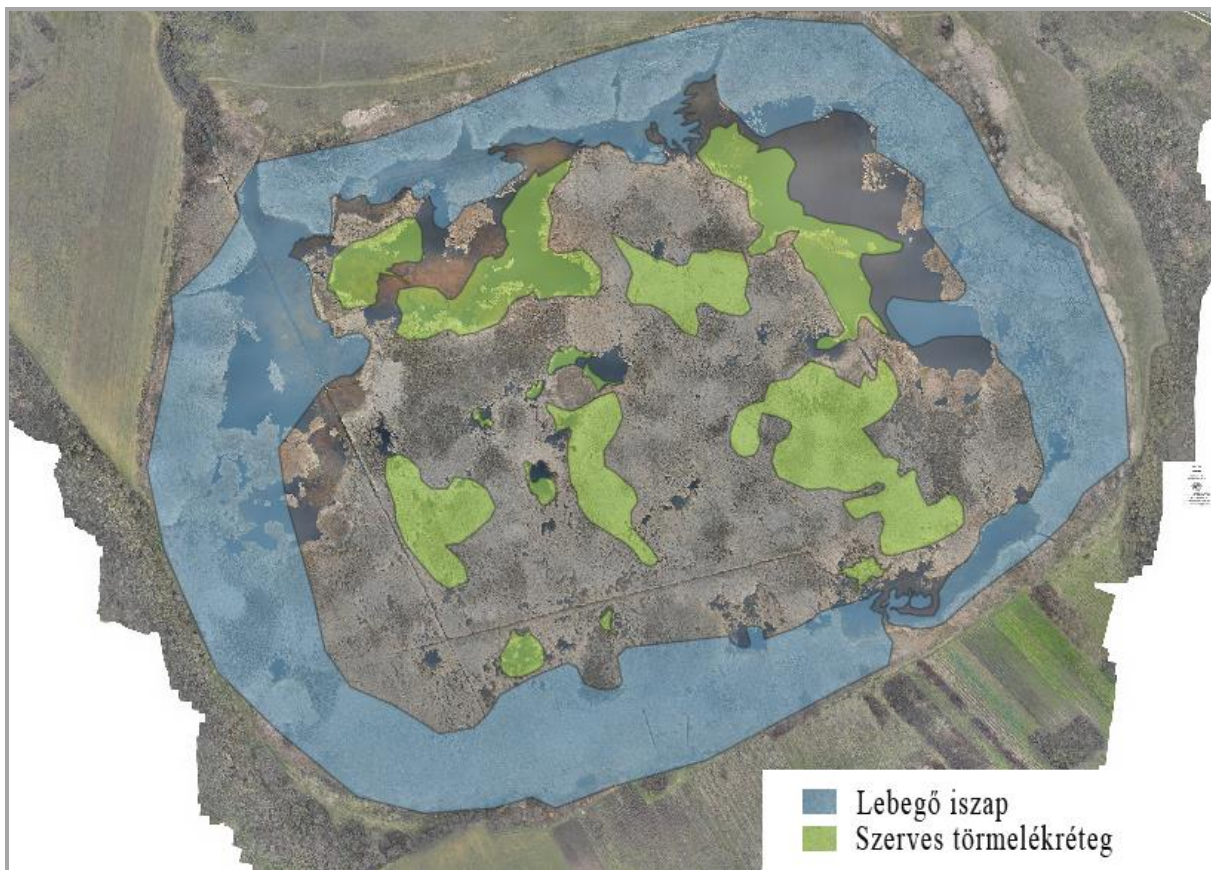
A part menti sávban talaj bemosódás következtében vízbe került, magas ásványi anyag tartalmú iszap lebeg (4. ábra), amit a térképen a kék szín jelöl.

A tó belső részén kemény tőfenék felett 10-20 cm magasságban lebeg a szerves törmelék. Ez a növényzet elhalt részeinek aprózódásából származó szerves törmelékreteg a 4. ábrán szintén megfigyelhető. A felvételezés során potenciális hőforrásokat is találtak (5. ábra), de ezek ellenőrzéséhez 0 °C fok körüli hőmérséklet és hajnali repülés szükséges, amire csak a következő télen nyílik lehetőség.

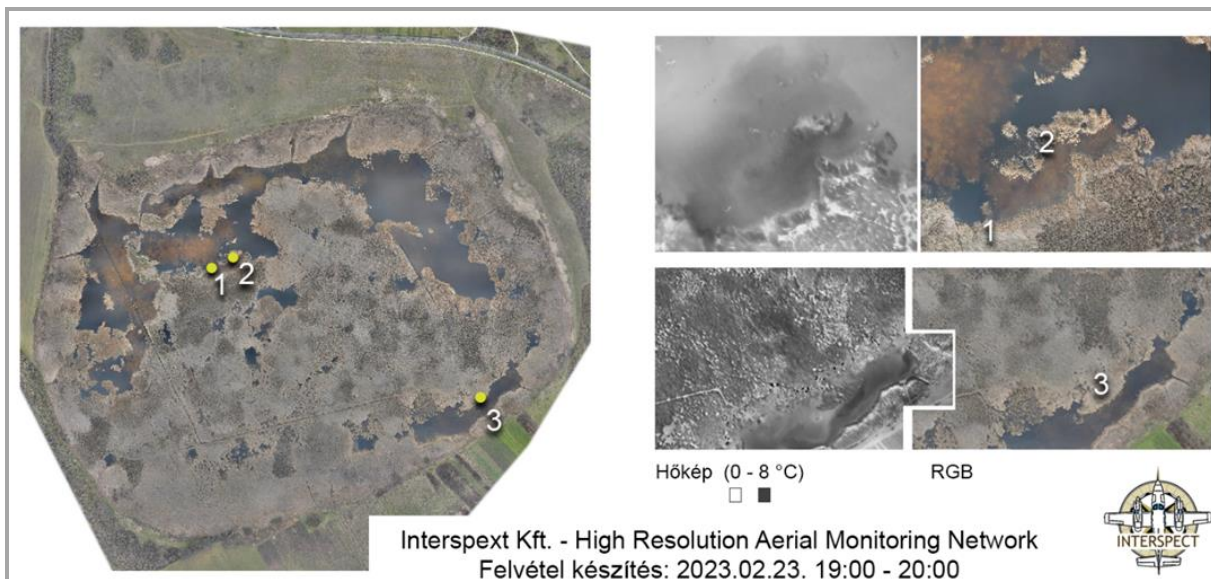
A források felfedésére azért nem tökéletes egy napnyugta utáni termális ortofotó, mert a közvetlen napsugárzás által felmelegített testek még sokáig adnak le hőt, ráadásul csökkenő mértékben, a repülési sorokon haladva is változik a tó egyes részeinek a hőképe. Napfelkelte előtt adódik az az időszak, amikor már minden felület visszahűlt, amelyet korábban napsugárzás melegített fel. A hőtartományú ortofotó-mozaik a fent említett két alkalmazáson túl arra is alkalmas volt, hogy a tavon és a tó melletti földeken meg lehessen számolni a vidrák, ludak és a bütykös hattyúk számát. A felvételezés az ülepedési régiók lehatárolására és a lehetséges hőforrások felkutatása céljából ment végbe, de az utóbbi bizonytalansága miatt új felvételezést terveznek.

A tihanyi Külső-tó NRMH vizes élőhelyre vonatkozó új kategóriái

Az NRMH kiértékelési kategóriái a tihanyi Külső-tó felszínborítási fedvény készítése során hat kategóriával bővültek (1. táblázat). A feltöltődésben lévő tó esetén már nem a nyílt vízfelület a domináns.



4. ábra. A tihanyi Külső-tóban lebegő iszap- és szerves törmelékréteg az éjszakai hő térképről elemezve, a januárban nappal készült ortofotó-mozaikon szemlélítve
 Figure 4. Silt and organic debris layer floating in the Outer Lake of Tihany, analysed with the night-time thermal mapping, illustrated with the January daytime orthophoto mosaic



5. ábra. Lehetséges természetes források a tihanyi Külső-tóban (Fotó Interspect, 2023.02.23.)
 Figure 5. Potential natural springs in the Outer Lake of Tihany (Photo by Interspect, 23.02.2023.)

1. táblázat. A vizsgálat során bevezetett új NRMH kiértékelési kategóriák
Table 1. New HRAMN evaluation categories implemented by the study

LC (Felszínborítás, LandCover)		Rövid megnevezés, leírás
432	Hínaras állóvízfelület	Borításmentes vízfelület, amelyben hínaras figyelhető meg
433	Úszó növényzetfolt	Úszóláp, úszó növényzetfolt, úszó gyékénysziget
450	Vízfelület nádasban	A nádason belül megtalálható borításmentes vízfelület
451	Nádvágás során feltisztult terület	Borításmentes vízfelület, amely alatt nádvágás nyomai figyelhetők meg
453	Homogén nádas	Nagyjából egykorú nádfeület
455	Nádas felritkulása	Ismeretlen okból degradált, szegmentált, összeomló nádas

Hínaras állóvízfelület kategória: Borításmentes vízfelület, amelyben hínaras figyelhető meg. Azon foltok tartoznak ide, ahol a vízfelszín alatt barnás hínaras folt figyelhető meg a tenyészidőszakot megelőzően (6. ábra). A hínaras és a borításmentes, szabad vízfelszín határa nem éles, ezért a pontos határvonal behúzása nehézkes, a pontosság a poligonok töréspontjainak sűrűségével kerül jelölésre.



6. ábra. Hínaras állóvízfelületek foltjai a tihanyi Külső-tó területén

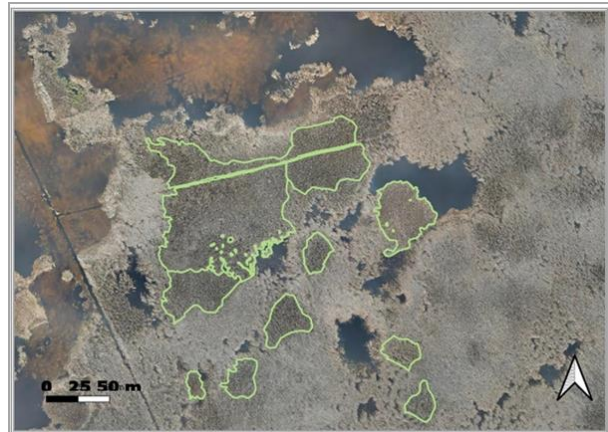
Figure 6. Patches of seaweed in the Outer Lake of Tihany

Úszó növényzetfolt kategória: Úszóláp, úszó növényzetfolt, úszó gyékénysziget tartozik ebbe a kategóriába (7. ábra). Méteres mozgás jellemző, amit a szél indukál, leginkább ott, ahol nagyobb a szabad vízfelszín (pl. a tó északi részén).

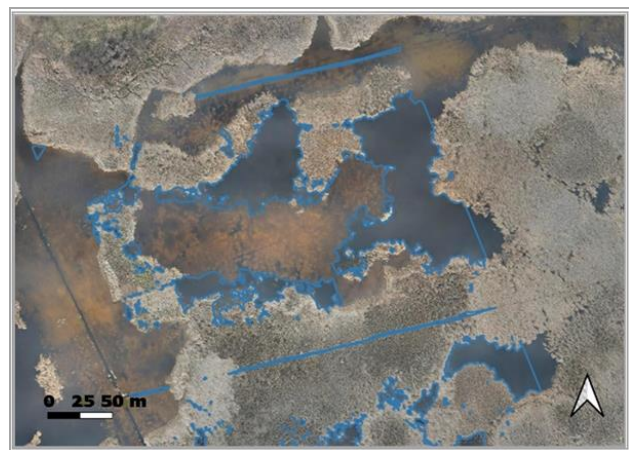
Vízfelület a nádasban kategória: A nádason belül megtalálható borításmentes vízfelület (8. ábra). A foltok azonosítása nem okozott komolyabb nehézséget. A nádason belül az 1 m²-nél kisebb területek esetén, ahol különösen nehéz volt a lehatárolás, ott kevés törésponttal leírt poligonok reprezentálják az egységeket, jelezve, hogy a határvonal relatív. Ezzel szemben a markáns határvonalakkal leírható foltátmeneteken sűrű töréspontrendszerű poligonok írják le az egységeket. A legkisebb térképezett terepi folt mérete 0,5 m².

Nádvágás során feltisztult terület kategória: borításmentes vízfelület, amely alatt a nádvágás nyomai figyelhetőek meg (9. ábra). A tó északi és nyugati részén találhatóak meg ezek a foltok, melyek nem kerültek összevo-

násra a borításmentes vízfelülettel. A víz alatti nádvágásra 2014-ben került sor a nádas visszaszorítása érdekében, akkorra a nyílt vízfelület már 10% alá csökkent. A levágtott törzsek 2022-ben tűntek fel újra, ami az évi alacsony víz/csapadék alakulás eredménye.



7. ábra. Úszó növényzetfoltok a tihanyi Külső-tó területén
Figure 7. Floating vegetation patches in the Outer Lake of Tihany



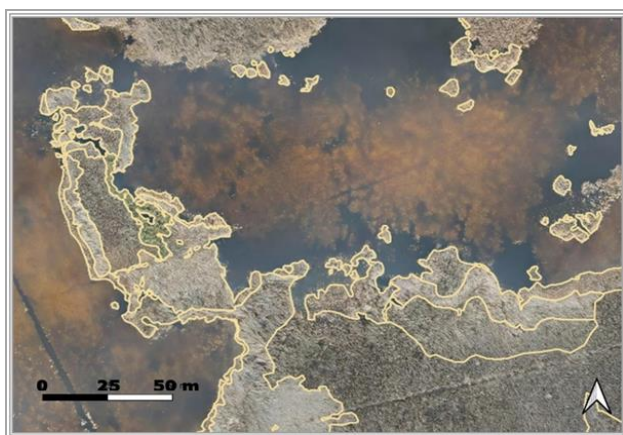
8. ábra. Borításmentes vízfelület a nádasban a tihanyi Külső-tó területén

Figure 8. Water surface in the reedbed in the Outer Lake of Tihany

Homogén nádas kategória: nagyjából egykorú nádfeület (10. ábra), mely egyértelműen elkülöníthető a többi kategóriától. A nehézséget a különböző nádtípusok határvonalának meghúzása jelentette.



9. ábra. Nádvágás során feltisztult terület a tihanyi Külső-tóban
Figure 9. Land cleared by reedbed cutting in the Outer Lake of Tihany



10. ábra. Homogén nádas a tihanyi Külső-tó területén
Figure 10. Homogeneous reedbed in the Outer Lake of Tihany

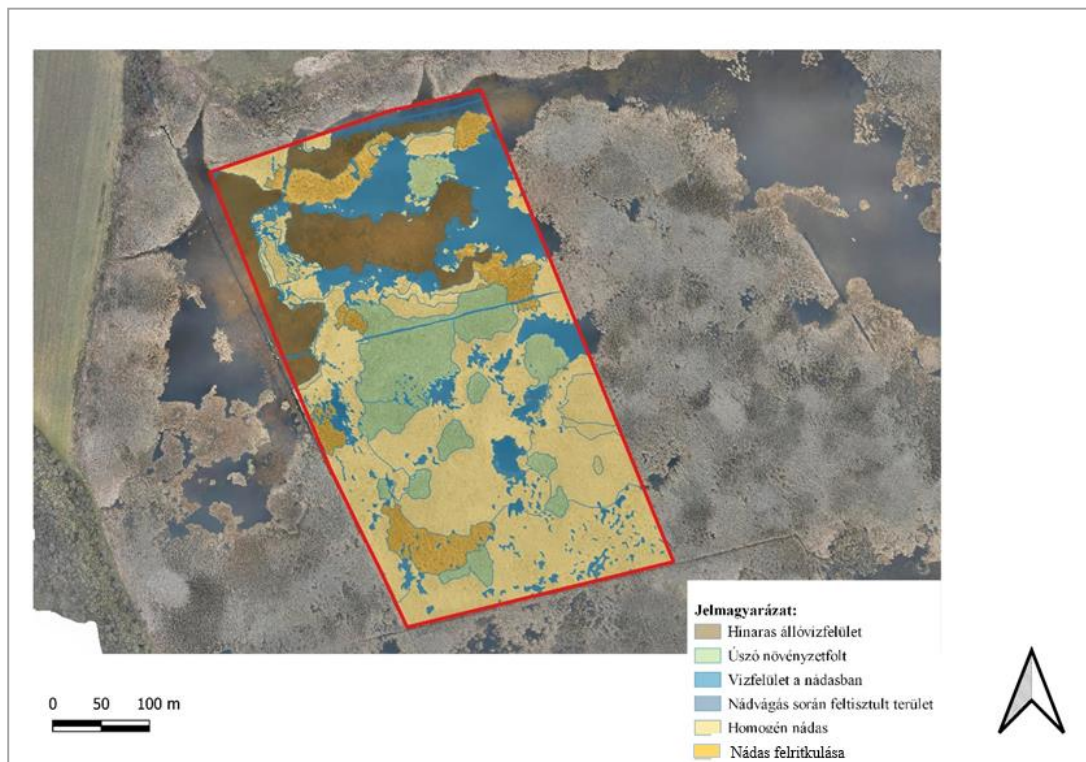
Nádas felritkulása kategória: ismeretlen okból degradált, szegmentált, összeomló nádas (11. ábra). Olyan foltok sorolhatóak ide, ahol a nádas kinyílik, ritkulni kezd, kisebb szabad vízfoltok azonosíthatóak a nádas kinyílása mentén (ezen szabad vízfoltok azonban önálló poligonként még nem kerültek felvételre).



11. ábra. Nádas felritkulása a tihanyi Külső-tó területén
Figure 11. Self-clearing of reedbed in the Outer Lake of Tihany

A mintaterület jelenlegi állapota

Az állapotfelmérés során a következő lépés a tihanyi Külső-tavat reprezentáló részletes felszínborítási térkép elkészítése, a 2023. januári állapotokat tükröző 2,85 cm terepi felbontású ortofotó alapján. Az így elkészült térkép alapján lehetőség lesz a nemzeti park munkatársai számára a terület monitorozására, a térképi információk adattartalommal való feltöltésére (különös tekintettel a nád állomány minősítésre, a nyílt vízfület változásának követésére). A 2,85 cm-es terepi felbontás lehetővé teszi a nehezen megközelíthető, csónakkal sem elérhető terepen (például az összefüggő nádas esetén) a részletesebb, kisebb élőhelyfoltok azonosítását (12. ábra).



12. ábra. A tihanyi Külső-tó felszínborítási térképe
Figure 12. Land cover map of Outer Lake of Tihany

A korábban ismertetett kategóriarendszer szerint lehatárolt foltok alapján megállapítható az egyes felszínborítási kategóriák (LC) kiterjedése (2. táblázat). A kiválasztott terület a tó közép-nyugati része, melynek északi részén 2013-2014-ben nádvágás történt.

2. táblázat. Felszínborítási kategóriák eloszlása a mintaterületen
Table 2. Distribution of land cover categories in the sample area

LC kategória		Terület	
Kód	Megnevezés	m ²	%
432	Hírnás állóvízfelület	21 925,70	14,45
433	Úszó növényzetfolt	20 188,51	13,30
450	Vízfelület nádasban	22 585,16	14,88
451	Nádvágás során feltisztult felület	2 564,08	1,69
453	Homogén nádas	71 969,10	47,42
455	Nádas felritkulása	12 541,78	8,26

A szabad, borításmentes vízfelület a területnek 14,88%-a, az összefüggő, homogén nádas a terület majdnem felét foglalja el (47,42%). Korábban *Dömötör (2011)* vizsgálta a tó vízszintváltozását, mely során 1987-2005 közötti időszakban egyértelmű csökkenést állapított meg, 2005-re a tó nyílt vízfelülete 10% alá csökkent. A borításmentes vízfelület növelése érdekében, a nádas visszaszorítása miatt következett be a víz alatti nádvágás és a régi csatornák megtisztítása (*Futó és Vers 2014*). A felszínborítási térképezés során megállapítható, hogy a víz alatti nádvágás nyomai az ortofotókon egyértelműen elkülöníthetők és a nádas továbbra is víz alatt van. A minterület északi és déli része (a korábbi csatorna vágástól nézve) erősen különbözik egymástól, az északi részen a borításmentes vízfelület a domináns, míg a déli részen egyértelműen a nádas a meghatározó, ami a tó bezáródására, feltöltődésére utal.

ÖSSZEFOGLALÁS

A táj térszerkezetében az elmúlt évtizedekben bekövetkező gyors változások indokoltá teszik azokat a kutatásokat, melyek segítenek megérteni és előre jelezni a változásokat és azok tendenciáit. A tájkutatás módszerei is ennek mentén változóban vannak, a térinformatika és a légi távérzékelés egyre hangsúlyosabb szerepet kap egy-egy mintaterület alapállapotának rögzítése során, melyek ezáltal pontosabb, részletesebb felméréssel készülhetnek el, részben automatizálhatók, a sűrűbben végbemenő és mélyebb vizsgálatok révén választ adva a változásokra. A vizes élőhelyek minden változásra érzékenyen, azonnal reagálnak, ezért is fontos ezen élőhelyek monitoringja. A vízi- és mocsári ökoszisztémák meghatározó élőhelye a nádasok, ezért különösen fontos a minősítésük. A Külső-tó a Tihanyi-félsziget három kis kiterjedésű tavának egyike. A Külső-tó kiemelkedő jelentőségű, országos védelem alatt álló vizes élőhely. A tó sekély, feltöltődőben lévő vizes élőhely, melynek területhasznosítása, a nyílt vízfelület aránya az évszázadok folyamán többször változott.

A Nagyfelbontású Repülőgépes Monitoring Hálózat (NRMH) egy olyan zavarásmentes, interdiszciplináris

kiértékelő, gyakorlatorientált, terepen könnyen alkalmazható információs rendszer, mely különböző környezet-, táj- és természetvédelmi döntések meghozása során támogatja a döntéshozókat. Az eljárás lényege, hogy nagy gyakorisággal centiméteres felbontású részletes felvételek készülnek a vizsgált területről, melyek alkalmasak egy-egy mintaterület pontosabb és részletesebb felmérésére. A monitoring hálózat műszaki alapjait az Interspect Kft. dolgozta ki. A felmérés során használt RGB fotókat és termódelleket, valamint hőtérképeket az Interspect Kft. készítette a BFNP támogató jelenlétében. A vizsgált terület vektorgrafikus térképének elkészítéséhez QGIS programot használtunk, és az NRMH módszertanát vettük alapul a fedvény készítése során, melynek kilenc fő kategóriája van. Az elemzés során hat új kategóriával bővítettük a szempontrendszert a vizes élőhelyre vonatkozóan (hírnás állóvízfelület, úszó növényzetfolt, vízfelület a nádasban, nádvágás során feltisztult terület, homogén nádas, nádas felritkulása). Ez alapján elkészült a terület felszínborítási térképe a kiválasztott mintaterületre. A szabad, borításmentes vízfelület a területnek 14,88%-a, az összefüggő, homogén nádas a terület majdnem felét foglalja el (47,42%). A felszínborítási térképezés során megállapítható, hogy a víz alatti nádvágás nyomai az ortofotókon egyértelműen elkülöníthetők és a nádas továbbra is víz alatt van. A minterület északi részén a borításmentes vízfelület volt a domináns, míg a déli részen egyértelműen a nádas meghatározó, ami a tó bezáródására, feltöltődésére utal.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetünket fejezzük ki az Interspect Kft-nek, a Balaton-Felvidéki Nemzeti Park Igazgatóságnak, a Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálatának, illetve a Duplitech Kft. részére az engedélyek és a rendelkezésre bocsátott hőtérképező szenzor tekintetében.

IRODALOMJEGYZÉK

- Bakó G. (2019a). Nagy terepi felbontású és frekvenciájú légi felmérésen alapuló monitoring-hálózat kiépítési módszertana. *Tájökológiai Lapok*. 17(1). pp. 61-74. <https://doi.org/10.56617/tl.3465>
- Bakó G. (2019b). Repülőgépes megfigyelőhálózat. *Élet és Tudomány*. 64(8). pp. 242-244.
- Bakó G., Molnár Zs., Szilágyi Zs., Biró Cs., Morvai E., Ábrám Ö., Molnár A. (2020). Accurate Non-Disturbance Population Survey Method of Nesting Colonies in the Reedbed with Georeferenced Aerial Imagery, Sensors. 20(9). 2601. <https://doi.org/10.3390/s20092601>
- Bakó G., Molnár Zs., Bakk L., Horváth F., Fehér L., Ábrám Ö., Morvai E., Biró Cs., Pápay G., Fűrész A., Penksza K., Pácsonyi D., Demény K., Juhász E., Dékány D., Csernyava L., Illés G., Molnár A. (2021). Toward a High Spatial Resolution Aerial Monitoring Network for Nature Conservation – How Can Remote Sensing Help Protect Natural Areas? Sustainability. 1 (16). 8807. <https://doi.org/10.3390/su13168807>
- Berényi A., Pongrácz R., Bartholoy J. (2021). Csapadékcsökkentés változása Európa déli alföldi régióiban az 1951-2019 időszakban. *Modern Geográfia*. 16(4). pp. 85-101. <https://doi.org/10.15170/MG.2021.16.04.05>

- Czigány B., Pirkhoffer E., Balassa B., Bugya T., Bötökös T., Nagyvárad G., Gyenizse P., Lóczy D., Geresdi I.* (2010). Villámárvíz mint természeti veszélyforrás a Dél-Dunántúlon. *Földrajzi Közlemények*. 134(3). pp. 281-298.
- Demény K., Centeri Cs.* (2012). A Gödöllői-dombság tájtörténeti elemzése katonai térképek alapján. VI. Magyar Földrajzi Konferencia, Szeged. Konferencia tanulmánykötete, pp. 155-164.
- Dömötör D.* (2011). Tihanyi-félsziget Külső-tavának hosszú idejű vízszintváltozásainak elemzése távérzékelési állapotok retrospektív elemzésével. RS&GIS Távérzékelési, fotogrammetriai és térinformatikai szakfolyóirat I. 1 (1).
- Dömötörfy Zs., Pomogyi P.* (1997). A KBVR vegetáció-térképezés módszerei. *Hidrológiai Közöny*. 77(1-2). pp. 48-49.
- Dövényi Z.* (szerk.) (2010). Magyarország tájainak kistáj katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
- Futó J., Vers J.* (2014). A tihanyi Külső-tó. Élőhely védelem és helyreállítás a Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság működési területén. Élőhelyvédelmi füzetek 7., Prospektus Nyomda, Veszprém.
- Fülöp S., Dömötörfy Zs., Pomogyi P.* (2006). A mocsári növényzet állapotának GIS alapú térképezése a Kis-Balaton Védőrendszer Ingói-berkében. *Földrajzi Értesítő*. 55(1-2). pp. 37-51.
- Gyenes T., Zlinszky A., Albert G.* (2019). A Balatoni nádasok pusztulása és regenerációja a mederdinamika függvényében. *Földrajzi Közlemények*. 143. 3. pp. 197-209. <https://doi.org/10.32643/fk.143.3.1>
- Havril T., Tóth Á., Mádlné Szőnyi J., Müller I., Simon Sz., Péntek Cs., Molson J.* (2013). Tavak és felszín alatti vizek kölcsönhatásának vizsgálata terepi és numerikus szimulációs módszerekkel a Tihanyi-félszigeten. In: Ünnepi kötet Müller Imre professzor 75. születésnapja tiszteletére. ELTE TTK Földrajz és Földtudományi Intézet, Budapest.
- Kertész Á.* (2010). Hogyan értékelhető a tájváltozás? In: Szilassi P., Henits L. (szerk.): Földrajzi Tanulmányok V., Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században, Tudományos konferencia és műhelymunka tanulmányai, JATE Press. pp. 125-134.
- Konecsny K.* (2015). Változások néhány dunántúli vízfolyás kisvízi vízjárásában. In: Szilassi P., Gampel T., Szigeti E. (szerk.) XXXIII. Országos Vándorgyűlés. Szombathely, 2015. július 1-3. Budapest, Magyarország: Magyar Hidrológiai Társaság (MHT). pp. 1-20.
- Kozma-Bognár V., Szeglet P., Soós G., Pintér Á., Anda A., Pomogyi P.* (2015). Kis-Balaton vegetációk tér-idő változásának vizsgálata. *Geogikon Journal*. 19(1). pp. 23-28.
- Marosi S., Somogyi S.* (1990). Magyarország kistájainak katasztere II. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest.
- Molnár Zs., Góber E.* (2020). Repülőgépes adatgyűjtés a fenntartható jövőért. *Természettudományi Közöny*. 151(2). pp. 66-69.
- Németh K., Martin U., Harangi Sz.* (2001). Miocene phreatomagmatic volcanism at Tihany (Pannonian Basin, Hungary). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 111(1-4). pp. 111-135. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(01\)00223-2](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(01)00223-2)
- Pácsonyi D.* (2023). A Kis-Szénás mintaterület. <https://www.interspect.hu/NRMH/html/10.html> (2023. május 23.)
- Pácsonyi D., Bakó G.* (2022). Az NRMH Módszertanának fejlesztése a Budai Sas-hegyen. *Tájökológiai Lapok*. 20(1). pp. 107-122. <https://doi.org/10.56617/tl.3382>
- Pinczés P.* (2023). Pilis-oldal erdőrezervátum és Pilis-Tető mintaterület. <https://www.interspect.hu/NRMH/html/11.html> (2023. május 23.)
- Pomogyi P., Reskóné Nagy M., Szilágyi F.* (2007). A Balaton és a Velencei-tó, valamint vízgyűjtőjük speciális monitoring hálózata kialakításának makrofita szempontjai. *Magyar Hidrológiai Társaság XXV. Országos Vándorgyűlése*. Tata 2007. július 4-5. p. 14.
- Pomogyi P., Szalma E.* (2006). A VKI szerinti makrofita minősítő rendszer leírása. <https://enfo.hu/sites/default/files/Makrofita%20minosito%20rendszer.pdf> (2023. május 8.)
- Rakonczay Z.* (2002). Természetvédelem. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Szabó B., Centeri Cs., Vona M.* (2011). Turai legelő Természetvédelmi Terület és környezetének tájváltozás vizsgálata katonai térképek alapján. *Tájökológiai Lapok*, 9(1). pp. 1-11. <https://doi.org/10.56617/tl.3818>
- Szabó M., Timár G., Győri H.* (2004). A Csicsói-holtág (Alsó-Csallóköz) kialakulása és fejlődése – a tájhasználat és a vizes élőhelyek változásai. *Tájökológiai Lapok*, 2 (2). pp. 267-286. <https://doi.org/10.56617/tl.4600>
- Uj B., Nagy A., Saláta D., Laborczi A., Malatinszky Á., Bakó G., Danyik T., Tóth A., S. Falusi E., Gyuricza Cs., Póti G., Penksza K.* (2015). Wetland habitats of the Kis-Sárrét 1860-2008 (Körös-Maros National Park, Hungary). *Journal of Maps*, 12. pp. 211-221. <https://doi.org/10.1080/17445647.2014.1001799>
- Vers J.* (2002). Természetvédelem az ezredfordulón – In: Futó J. (szerk.): A Balaton-felvidék természeti értékei III. – A Tihanyi-félsziget. Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság, Veszprém.
- Zlinszky A., Tóth A., Pomogyi P., Timár G.* (2011). Initial report of the aimwetlab project: Simultaneous airborne hyperspectral, lidar and photogrammetric survey of the full shoreline of Lake Balaton, Hungary. *Geographia Technica*. 1. pp. 101-117.
- Internet1:* <https://vizeink.hu> (2023. május 16.)
- Internet2:* www.interspect.hu/NRMH.html
- Internet3:* <https://eletestudomany.hu/wp-content/uploads/2022/02/1-32.jpg> (2023. május 17.)
- Internet4:* <https://www.interspect.hu/NRMH/html/hramn-lc.html>
22/1998. (II. 13.) Korm. rendelet a Balaton és a parti zóna nádasainak védelméről, valamint az ezeken folytatott nádgazdálkodás szabályairól.

A SZERZŐK



DEMÉNY KRISZTINA okleveles geográfus és földrajz szakos tanár, hidrológus. 2019-ben szerzett PhD fokozatot a Szent István Egyetemen környezettudomány-ágban. 2006 óta főállású oktató, jelenleg az Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Könyv- és Könyvtudományi Karán egyetemi adjunktus, intézetigazgató-helyettes. Főbb kutatási területe a tájváltozás, az élőhelyek antropogén hatásra bekövetkező változás vizsgálata.



BAKÓ GÁBOR okleveles környezetmérnök, biológia tudományok doktora, távérzékelési szakember. Munkája során települési problémákat old meg a legmodernebb technológiai eszközökkel. A Légi Térképészeti és Távérzékelési Egyesület és a hasonló nevű konferenciasorozat megalapítója, a HRAMN ötletének megalkotója. Környezetvédelmi és képrögzítési területeken igazságügyi szakértő, a vízügy utolsó repülőgép fedélzeti légi fényképészeként kezdte a pályát.



MOLNÁR ZSOLT térinformatikus, távérzékelési szakember, az Interspect Kft. alapító tagja, a HRAMN számos alaptervezésének társkidolgozója. Számos település, repülőtér és nagyváros térinformatikai rendszereinek megalapozásában vett részt, több tucat repülőgép fedélzeti és UAS mérőműszerek kidolgozását végezte el.



MOLNÁR ANDRÁS programtervező matematikus, katonai műszaki tudományok doktora. Habilitációjának a címe: Kisméretű robotrepülőgépek elosztott irányítási rendszereinek és alkalmazásainak kutatása és fejlesztése (2014). Jelenleg az Óbudai Egyetem általános rektorhelyettese. Kutatási területe: robotrepülő, robotkutatás, automatizálás, elosztott alkalmazások, autonóm rendszerek.



VERS JÓZSEF természetvédelmi szakember, a Balaton-felvidéki Nemzeti Park Kelet-Veszprém Tájegység osztályvezetője, a Természetvédelmi Őrszolgálat tájegység-vezetője.



Elkészült a siófoki vízleeresztő és hajózsilip, a balatonkiliti mederduzzasztó, illetve befejeződtek a munkálatok a Sió-csatornán. A beruházás súlyponti elemei a siófoki zsilipek, melyek egy hosszútávú víziót tükröznek a Balaton vízgazdálkodását illetően, tartalmazzák a ma elérhető legmodernebb megoldásokat, valamint olyan tájépítészeti, városképi elemeket tartalmaznak, melyek nemzetközi szinten is egyedülállónak mondhatóak. (vizinform.hu)

Fórum

A Hidrológiai Közlöny Fórum rovatában a Magyar Hidrológiai Társaság szakosztályi munkájáról is beszámolunk. Alábbiakban Borsányi Máttyás, az MHT Vízminőségi és víztechnológiai Szakosztály elnöke mutatja be a 17. Ivóvízbiztonsági szakmai nap ajánlásait, javaslatait.

Ivóvízbiztonság javítása a vezetékes ivóvízellátási lánc veszélyeinek felderítése, a kockázatok értékelése és csökkentésük útján – az Ivóvízbiztonsági szakmai nap előadásainak összefoglalói és ajánlásai

Borsányi Máttyás*

* MHT Vízminőségi és víztechnológiai Szakosztály elnöke (e-mail: borsanyim@gmail.com)

BEVEZETÉS

Az ivóvízbiztonság a közegészségügy védelmével összefüggésben három elemet foglal magában: az ivóvíz minőségét, az elfogadhatóságot a fogyasztó számára és az elegendő mennyiséget a használat helyén. A korszerű Vízbiztonsági terv program, összhangban a WHO (World Health Organization – Egészségügyi Világszervezet) ivóvízminőségi és vízbiztonsági tervezés iránymutatásával, az EU „átdogozott ivóvízirányelvben” (2020/2184. Irányelv az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről) és a hazai új ivóvíz kormányrendeletben (5/2023 (I. 12.) Kormányrendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről) megfogalmazott elvekkel gyakorlati útmutatást nyújt a vízmű és hálózat üzemeltetésben dolgozó munkatársaknak.

A Magyar Hidrológiai Társaság Vízminőségi és víztechnológiai Szakosztálya – esettanulmányok és példák bemutatásával – kiemelt feladatának tartja a vízszolgáltatók és a vízbiztonsági tervezési programokat támogató szervezetek figyelmét felhívni a megújult szabályozás és követelményrendszer változásaira. A biztonságos ivóvízhez való hozzáférést csak a módosuló szemléletű vízbiztonsági tervezés biztosíthatja.

Szakosztályunk előadói és szakmai napok szervezésével segíti az ivóvízbiztonság javítását. 2023. május 11-én került megrendezésre az „Ivóvízbiztonság javítása ivóvizek ólom szennyeződés miatti veszélyeinek felderítése és azok csökkentése útján” című előadóülés (rendezők: MHT Vízminőségi és víztechnológiai Szakosztály, Fővárosi Vízművek Zrt. Üzemi Szervezet).

Idén októberben már 17. alkalommal került megrendezésre a Szakosztály által szervezett Ivóvízbiztonsági szakmai nap (társszervező: Fővárosi Vízművek Üzemi Szervezet; támogatók: Magyar Víziközmű Szövetség, BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, Víz-tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium). A következőkben ismertetésre kerülnek az Ivóvízbiztonsági szakmai napon elhangzott előadások rövid összefoglalói, valamint a szakmai nap végén megfogalmazott ajánlások.

17. IVÓVÍZBIZTONSÁGI SZAKMAI ELŐADÓÜLÉS 2023. OKTÓBER 3.

Szakmai nap megnyitó. Előadó: Radács Attila, MaVíz Műszaki Bizottság, elnök

A víziközmű szakma számára rendkívüli fontossággal bír az idei év januárjában megjelent 5/2023. (I. 12.) Kormányrendelet. A jogszabály nem csak a vízminőség vizsgálatokkal, azok rendjével kapcsolatban fogalmazza meg az EU irányelvhez igazodó előírásokat, de átfogóan szabályozza az ivóvíz minőségéhez kapcsolódó feltételrendszert is (kockázat alapú ivóvízminőség-felügyelet, vizsgálandó paraméterek, vízzel érintkező anyagok szabályozása, lakossági tájékoztatás).

Fogyasztói tájékoztatás a vízminőségről vízbiztonsági szemlélettel. Előadó: Szebényiné Vincze Borbála, DRV Zrt., technológiai osztályvezető

Az új 5/2023. (I. 12.) Kormányrendelet szigorú, e mellett mégis általános előírásokat fogalmaz meg a vízminőségi eredmények fogyasztói tájékoztatására vonatkozóan. Kiemelendő a kifogásolt eredmények esete, melyek kezelése nem egyszerűsítésű sem az üzemeltetői, sem a hatósági oldalt illetően. A kifogásolt vízminőségi paraméterek jellemzőit tekintve az azonnali tájékoztatás követelményét is mérlegelni szükséges, mely esetekben az üzemeltető és a hatósági szakemberek tapasztalt együttműködése nélkülözhetetlen. Amennyiben helytelen tájékoztatás okán a fogyasztói bizalom megrendül, akkor a vízbiztonság sérül, mivel az egyén számára nem áll rendelkezésre biztonsággal fogyasztható ivóvíz. A téma fontossága, sokszínűsége eset-bemutatókkal kerül alátámasztásra.

A vízbiztonsági tervek elkészítését támogató vízgyűjtő-gazdálkodás tervezési információk és az ebből előállított helyzetértékelés tapasztalatai. Előadók: Hegyi Róbert, Tahy Ágnes, Országos Vízügyi Főigazgatóság

A vízügyi igazgatási szervek számos adatot gyűjtenek, amelyek hasznosak lehetnek a vízbiztonsági tervek elkészítéséhez. A veszélyek és a kockázatok értékeléséhez azonban nem elegendők a nyers adatok, hanem speciáli-

san feldolgozott adatokra, azaz információkra van szükség. Az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről szóló, 2020. december 16-i (EU) 2020/2184 európai parlamenti és tanácsi irányelv 8. cikkében olyan adatok felhasználásának biztosítását és értékelését várja el a tagországoktól, amelyek a 2000/60/EK Víz Keretirányelvben előírt vízgyűjtő-gazdálkodási tervek elkészítéséhez is szükségesek. Az Országos Vízügyi Főigazgatóság jelenleg dolgozik egy olyan rendszer kidolgozásán, amely segítséget nyújt ahhoz, hogy a vízgyűjtő-gazdálkodás tervezésben már feldolgozott adatok és az ebből előállított információk célszerűen átadhatók legyenek a vízmű vállalatoknak, illetékes hatóságoknak.

VBT üzemeltetés fejlesztése hálózatmodellezési támogatással. Előadó: Bódi Gábor mestertanár, BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

A vízbiztonsági tervezés célja a közegészségügyi kockázat csökkentése a víztermelési rendszer, tisztítás-technológia, elosztóhálózat és belső hálózat vonatkozásában. Elosztóhálózat és belső hálózat esetén a VBT támogatására a hidraulikai modellezés szolgálhat. A vízminőségi modellvizsgálatok egyik feltétele a hidraulikailag kalibrált modell. A kalibrált modellel lehetséges a VBT zónák kijelölése, melyek segítségével kijelölhetők a kritikus vízminőségű helyek. A SCADA rendszer online vízminőségi méréseire támaszkodva vízminőségileg is kalibrálható a hálózat (pl.: betáplálások és hálózat klór degradációs jellemzőinek kalibrálása). Online hálózatszámitással – kalibrált vízminőségi modellel – lehetséges a hálózat vízminőségi térképének elkészítése és a kritikus helyek valós idejű kijelölése. A minden tekintetben kalibrált modell segítségével az üzemeltetés szempontjából optimális üzemmenet, valamint az operatív üzemirányítás célfüggvénye (pl. energia minimum, minimális nyomás, „klór” menedzsment, hálózattisztítás, esetleges szennyezés terjedés kontroll) megalkotható.

Fókuszban a fenntarthatóság – A Fővárosi Vízművek Zrt. felújítási stratégiája a vízbiztonsági kockázatok figyelembevételével. Előadók: Hornyák Rudolf hálózatüzemeltetési osztályvezető, Nagy-Kovács Zsuzsanna víztermelési mérnök, FV. Zrt.

Az előadás célja a főváros vízellátását biztosító közműrendszert érintő rekonstrukciós törekvések és azok vízbiztonsági vonatkozásainak a bemutatása. Egyfelől, a parti szűrés biztosítását szolgáló csápos kutak felújítási stratégiájának és megalapozottságának indoklása kerül bemutatásra. Másfelől, a műszakilag szükséges mennyiségű csőrekonstrukció elmaradásának közvetlen vízbiztonsági kockázatai kerülnek részletesen kifejtésre. Ehhez kapcsolódóan, a műszakilag az élettartamuk végén, jelentős lerakódással üzemelő vezetékből adódó közvetett kockázatok, úgy, mint a megnövekedett számú csőtörés és zavarosság emelkedés vízminőségi következményeit ismertetik az előadók, külön kiemelve a szektor szűkös anyagi helyzete mellett rendelkezésre álló pályázati lehetőségeket.

Egy vízminőségi havária kezelése – a probléma feltárásának folyamata, a vízbiztonság növelésére tett intézkedések bemutatása. Előadó: Vörös Gyula, BÁCSVÍZ Zrt.

A BÁCSVÍZ Zrt. által ellátott egyik, kb. 1800 fős településen a szolgáltatott víz minőségének romlására panaszok kaptak a fogyasztók: kellemetlen szagra és ízre, valamint a zavarosság növekedésére. A fogyasztói panaszok mellett megnövekedett telepszámokat és speciális baktériumok megjelenését tapasztalták. A hibakeresések, vizsgálatok, hatósági kötelezések, lakossági fórum és sok vízminőségjavító intézkedés után végül sikerült megoldást találni a problémára:

- irányítástechnikai hiba javítása,
- megfelelő intenzitású szűrőöblítés,
- törésponti klórozás alkalmazása KMnO_4 helyett (szabad klór a homokszűrőben),
- teljes vízcsere (tároló, hálózat és víztorony tisztítása).

Ivóvízminőség ellenőrző vizsgálatok változása az 5/2023 (I. 12.) Kormányrendelet alapján. Előadó: Bufa-Dórr Zsuzsanna, Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ

2023. január 12-én lépett érvénybe az ivóvíz minőségét és az ellenőrzés rendjét szabályozó 5/2023 (I. 12.) Kormányrendelet. A jogszabály változása számos ponton módosítja az ivóvíz vizsgálati programok tervezését, a vizsgálandó paraméterek körének meghatározását. Konceptcionális változás, hogy az ütemtervek összeállításában a kockázat alapú megközelítés hangsúlyosabban jelenik meg. Az ivóvízbiztonság elsődleges pillére az ivóvízbiztonsági terv (VBT), a monitoring vizsgálatok célja annak igazolása, hogy a VBT megfelelően működik. A monitoring részeként új, módosított előírások jelennek meg a nyersvíz, a vízkezelési technológia stb. ellenőrzésére szolgáló, úgynevezett üzemeltetési monitoringra vonatkozóan is.

A 17. Ivóvízbiztonsági szakmai nap előadói ajánlásainak, javaslatainak ismertetése. Előadók: Laky Dóra, Borsányi Máttyás

1. A víziközmű szakma számára rendkívüli fontossággal bír az idei év januárjában megjelent 5/2023. (I. 12.) Kormányrendelet. A jogszabály nem csak a vízminőség vizsgálatokkal, azok rendjével kapcsolatban fogalmazza meg az EU irányelvhez igazodó előírásokat, de átfogóan szabályozza az ivóvíz minőségéhez kapcsolódó feltételrendszert (kockázat alapú ivóvízminőség-felügyelet, vizsgálandó paraméterek, vízzel érintkező anyagok szabályozása, lakossági tájékoztatás).

A jogszabályi változás több tekintetben fogalmaz meg feladatokat, jelentős változtatásokat a víziközmű üzemeltetők számára 2024-től. Ezekre a változásokra, a 2024-től alkalmazandó előírásokra hívjuk fel a tisztelt víziközmű üzemeltetők figyelmét. Ahhoz, hogy a 2026-tól érvénybe lépő új előírásoknak is megfeleljünk, már most meg kell kezdeni a szisztematikus felkészülést.

2. A mai „információkban rendkívül gazdag” világban nagyon fontos, hogy fogyasztóink a lehető legkorrektebb tájékoztatást kapják az ivóvíz minőségére vonatkozóan, mind általános, mind rendkívüli helyzetet illetően.

A nem megfelelő vagy ellentmondásos tájékoztatás megrendítheti a felhasználók bizalmát az ivóvíz fogyasztását illetően, ami akár egészségterhelésüket is jelentheti.

A megfelelő információk közzététele megkívánja a népegészségügyi hatóságok és a víziközmű szolgáltatók szakembereinek jó együttműködését és egymás iránti bizalmát. A fogyasztók vízbiztonsági kockázattal összefüggő ismereteinek bővítése – tudatosságuk erősítése – a jövő útja, melynek alapjait/eszközait ma szükséges megteremteni.

3. Az új Ivóvíz Irányelv szakpolitikai célkitűzéseinek eléréséhez még inkább össze kell fognia a vízügyi igazgatási szerveknek, az illetékes hatóságoknak és a vízműveknek. Nem elegendő a szakmai együttműködés, a kormányzatnak is támogatnia kell a végrehajtást. Az ivóvízellátás 1/3-át adó rétegvízvezetésekre az eddiginél fokozottabb figyelmet kell fordítani, mivel itt nőttek leginkább a kockázatok az elmúlt időszakban.

4. Az Üzemeltető egyik fontos feladata kell legyen a mérő-adatgyűjtő rendszerek fejlesztése, de a mennyiségi méréseken túlmenően (pl.: körzetmérések) az online minőségmérések is elengedhetetlenek vízbiztonsági szempontból. A mérő-adatgyűjtő rendszer vízminőségi méréseivel a naprakész kalibrált modellekből a kalibrált vízminőségi modell is levezethető. Ennek feltétele a naprakészen vezetett hálózatnyilvántartás. A modell kalibráció visszahat a hálózatnyilvántartásra és létrejön a – hidraulikai és vízminőségi szempontból – kalibrált hálózatnyilvántartás.

A hidraulikai és vízminőségi szempontból kalibrált modell alkalmas online hálózatszámítás eredményeiből a beavatkozások hatásainak előrejelzésére. Így az

operatív üzemirányítás céljai közé bevonhatók a VBT-ben megfogalmazott vízminőségi célok.

A vízműveknél a feladatcél lehet: a kalibrált hálózatnyilvántartás, ebből levezetett több szempontból kalibrált hálózati modell, valamint online hálózatszámítással támogatott üzemirányítási rendszer kidolgozása, alkalmazása.

5. Az ivóvízminőség-javító programok során létesített vízkezelő művek laboratóriumi vízvizsgálati eredményeinek követése mellett fontos a műszerek, berendezések rendszeres felülvizsgálata, a termelt és tárolt ivóvíz szemrevételezéssel történő ellenőrzése és a fogyasztókkal való kapcsolattartás is.

Egy vízminőségi havária megoldása során szerzett tapasztalatok alapján az ivóvízbiztonsági tervek megelőző programjait és javító intézkedéseit is bővíteni kell.

6. Az 5/2023 (I. 12.) Kormányrendelet gyökeresen átalakította az ivóvízminőség-felügyelet rendszerét és ezen belül az ivóvíz minőségellenőrző vizsgálatok ütemtervét. A vízminőség ellenőrzésben a kockázat alapú szemlélet erősödik. Cél, hogy az ivóvízszolgáltatók és a népegészségügyi hatóság is azt, és ott vizsgálják, ami az adott rendszerben valós kockázatot jelent. A felügyelet alapja az ivóvízellátó rendszerre kiépített ivóvízbiztonsági terv, és az ellenőrző vizsgálatok célja azt igazolni, hogy az üzemeltetés során végzett megelőző és ellenőrző, valamint szükség esetén végzett korrekciós tevékenységek révén az ivóvíz biztonságos, és nem jelent kockázatot a fogyasztó egészségére. Az új szabályozás sokkal rugalmasabb, de nagyobb szakmai odafigyelést igényel.

A 17. Ivóvízbiztonsági szakmai nap előadásai és ajánlásai, valamint az ólommal kapcsolatos májusi rendezvény előadásai a Magyar Hidrológiai Társaság oldalán, az alábbi linken megtekinthetők:

http://www.hidrologia.hu/mht/index.php?option=com_content&task=view&id=807&Itemid=263

A SZERZŐ



BORSÁNYI MÁTYÁS a Budapesti Műszaki Egyetemen biokémia és élelmiszertechnológia szakon végzett és szerzett műszaki doktori címet is. Az 1970-es évektől az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálatnál (korábban Országos Közegészségügyi Intézet) különböző pozíciókat töltött be. Kutatóként és tanácsadóként dolgozott a vízminőség-szabályozás, a biotechnológiai ivóvízkezelés és vízfertőtlenítés fejlesztése területén. Nemzetközi (ISO, CEN) és magyarországi (MSZ) vízvizsgálati szabványokat, EU ivóvízminőségi előírásokat kidolgozó (ENDWARE) munkacsoportok tagja volt. Az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat Vízbiztonsági Osztályának megalapítója, jelenleg nyugalmazott vezetője. Ugyancsak az 1970-es évektől a Magyar Hidrológiai Társaság Vízbiztonsági (korábban Vízkémiai) és víztechnológiai Szakosztály tagja, titkára, jelenleg elnöke.

Események



Rovatunkban a PLANET Budapest 2023 Fenntarthatósági Expó és Élményprogramról számolunk be.



Két esztendő után 2023. szeptember 27. és október 1. között került újra megrendezésre a PLANET Budapest 2023 című rendezvény, amely a maga 38 ezer négyzetméteres területével Európa egyik legnagyobb fenntarthatósági eseményévé vált.



A PLANET idei fókuszába az élelmiszer került, mely köré csoportosultak a programok, különös tekintettel az ellátás biztonságára, az egészséges, fenntartható étkezésre és életmódra, a fenntartható mezőgazdaságra, valamint a víz-ellátás és a mezőgazdaság viszonyára.

Áder János korábbi köztársasági elnök fővédnöksége alatt megvalósult expó, konferenciasorozat és oktató-élményszínház alatt a fenntarthatósági célok megvalósításában élenjáró, konkrét megoldásokat felvonultató vállalatok képviselői kaptak bemutatkozási lehetőséget üzleti partnereik és a nagyközönség előtt.

A kiállítás kísérő konferenciákon és kerekasztal-beszélgetéseken az érintett szakintézmények és szakágazatok kiemelt képviselői számos részterületet jártak körül, fókuszálva a vízgazdálkodásra, a vízválságra és a fenntartható mezőgazdasági vízhasználatra.

PLANET BUDAPEST 2023 Fenntarthatósági Expó és Élményprogram 2023. szeptember 27. – október 1.

„Kölcsönhatás és Egymásrautaltság – A települési és agrár vízgazdálkodás az éghajlatváltozás tükrében” című konferencia, a Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség, az Országos Vízügyi Főigazgatóság, a Nemzeti Agrár Kamara és a BCSDH üzleti fenntarthatósági tanács közös szervezésében megvalósult meg. A PLANET fókuszához igazodva a fórum vizsgálta, hogy hogyan lehet egyidejűleg fenntartani a vízkészletek és az élelmiszertermelés biztonságát, hogyan alakulnak a vízkészletek a klíma és humán hatások nyomán, valamint, hogy hogyan használhatóak a települési szennyvíztisztítás „termékei”. Izgalmas kérdés, hogy a szabályozási lehetőségek hogyan támogatják a körforgásos gazdaságra történő áttérést, illetve, hogy milyen követendő megoldásokat, jó példákat látni a hazai és nemzetközi gyakorlatban.

A PLANET nagy hangsúlyt fektetett a fiatal generáció megszólítására is. A Heroes of the Future (A jövő hősei) program – mely egy, a fiataloknak szóló élményszínház, kalandpark és szabadulószoza keveréke –, futurisztikus környezetben mutatta be a különböző témákat úgy, mintha a résztvevők egy számítógépes játék hősei lennének. A fenntarthatósággal kapcsolatos szemléletformáló, interaktív játékok célja az volt, hogy a látogatók megéljék azt az élményt, hogy mindenki tud tenni azért, hogy egy egészségesebb, fenntartható világban élhessünk.

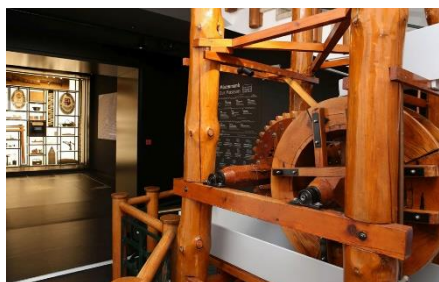
A Planet Budapest 2023 két eseményének, a Your Planet-nek és a Planet Expónak virtuális sétája elérhető az alábbi linkre kattintva: <https://planetbudapest.hu/virtual-walk>

Jó sétát kívánok!

*Dr. Major Veronika
a Hidrológiai Közlemények főszerkesztője*



Rovatunkban az 50 éves Magyar Környezetvédelmi és Vízügyi Múzeumot köszöntjük.



A fél évszázados Magyar Környezetvédelmi és Vízügyi Múzeum

Az intézmény első hivatalos elnevezése a Magyar Vízügyi Múzeum volt. Amikor 1987-ben megalakult a Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Minisztérium, akkor egy évvel később – a gyűjtőkör bővülésével – a hivatalos név Magyar Környezetvédelmi és Vízügyi Múzeum lett. Ez a mindmáig érvényes elnevezés azonban kevésbé volt érthető és népszerű a célzott nagyközönség számára, így az 1990-es években már inkább a Duna Múzeum név volt közforgalomban.

Kevés olyan szakterület létezik, amely annyira ki van szolgáltatva saját múltjának, mint a vízgazdálkodás. A hidrológia évtizedes, évszázados adatsorokkal dolgozik, a folyószabályozási tervezésnél igénylik a régi vízrajzi térképek adatait, ez utóbbiak értelmezésénél szükség van az egykori mérőeszközök pontosságának ismeretére, a lakossági vízellátás-csatornázás fejlesztéséhez szükséges tudni, milyen víz- és csatornavezetékek vannak a föld alatt, s azoknak egykor mi volt a nyomvonala, milyen anyagból és miféle technológiával épültek, ... s még hosszan lehetne folytatni a sort. S akkor még nem beszéltünk arról, hogy a vízgazdálkodási ismeretterjesztés sem nélkülözheti a történeti előzmények bemutatását és értelmezését, a napjainkban meglévő – s gyakran összegubancolódott – ismeretek, (tév)hitek szétszálazását és rendbetételét.

Az összetett problémakör megoldásának egyik alapvető feltétele volt a hazai vízgazdálkodás múltjával foglalkozó iratok, tárgyak, dokumentációs anyagok összegyűjtése, rendezése és az ezzel kapcsolatos kutatási eredmények megjelentetése, tematikus bemutatása. Az Országos Vízügyi Hivatal ezen gondolatok mentén hozta létre az Országos Vízügyi Levéltárat, a Magyar Vízügyi Múzeumot és a Vízügyi Szakkönyvtárat a VIZDOK szervezetén belül. A Levéltár és a Múzeum a VIZDOK Múzeumi és szaklevéltári osztályaként 1973-ban kezdte meg működését.

Ez a múzeumi kezdeményezés nem volt teljesen előzmények nélküli, hiszen az 1930-as években a Földművelésügyi Minisztérium Vízrajzi Intézete már elkezdte a muzeális anyagok gyűjtését, azonban ez a gyűjtemény, ha a háború alatt nem is pusztult el teljesen, mégis jelentős hiányokat szenvedve lett a Mezőgazdasági Múzeum, a VITUKI és a később szervezett Műszaki Múzeum állományának része. Ugyancsak itt kell megemlíteni azokat a helyi kezdeményezéseket is, ahol az 1960-as években – főleg a Tisza mentén – az egyes vízügyi igazgatóságok (FETI-VIZIG, ÉVIZIG, KÖTIVIZIG, ATIVIZIG) muzeális eszköz- és iratanyagukat (térképeket, tervrajzokat) összegyűjtve állandó kiállításokat rendeztek.

Az eltelt ötven év alatt sok minden történt. A Múzeum első raktára a budapesti Kazinczy utcában egy első emeleti kis, kb. 3 m² alapterületű kamra volt, tetőtől talpig dexionsalgó polcokkal bevasalva. A polcokon a FOKÁ-tól ajándékba kapott, kavicspáncélban rejtőzködő Dunába esett hajóeszköz, csáklya, lapát, csákány, horgony, majd az ezeket ellenpontozó néhány mérnöki műszer szomorkodott. Amikor az OVH vezetői elhatározták, hogy a Múzeumot komoly fejlesztéssel az eredeti célnak megfelelő helyzetbe hozzák, akkor felgyorsult az itteni világ. A múzeumi munkatársak létszáma emelkedni kezdett, s a Kazinczy utca mellett az újpesti Dunasori bázison is kialakították a munkaszobákat, raktárakat. Akkortájt települt oda a Vízügyi Levéltár is, dr. Dóka Klára vezetésével. A Múzeum és a Levéltár munkáját 1976-tól már VIZDOK igazgatóhelyettesi beosztásban Fábíán Gyula irányította. Nagy fegyvertény volt az esztergomi múzeumépület megszerzése és az itteni első állandó kiállítás megnyitása 1980-ban. Ekkor született a felsőbb döntés, hogy valamennyi munkatárs munkahelye ezentúl Esztergomban lesz. Ez, ha nem is azonnal, de egy éven belül megváltoztatta a múzeumi csapat addigi összetételét. A budapesti kollégák – egykét kivétellel – szétszéledtek, helyükre helybeli régészek, könyvtárosok, népművelők stb. érkeztek. Innentől a Múzeum története új irányt vett.

A kezdetekre történő mostani visszaemlékezésbe nem férnek bele azok az eredmények, amelyeket a múzeumi munkatársak az elmúlt negyedszázadban Kaján Imre, majd Szalkai Tímea vezetésével elértek. Elég csak arra utalni, hogy munkájukkal 2003-ban, majd 2021-ben a nemzetközi szakmai zsűri döntése alapján két alkalommal is elnyerték az Európai Múzeum Fórum különdíját (European Museum of the Year Special Commendations), melyhez gratulálunk.

Az 50 éves esztergomi Duna Múzeumban – akár virtuálisan is (<http://dunamuzeum.hu>) – megismerkedhetünk mindazzal az értékkel és tudással, amit a vizes ágazat letett közös asztalunkra az elmúlt párszáz évben.

*Fejér László
az MHT Vízügyi Történeti Bizottságának elnöke*

Könyvismertetés



Somlyódy Nóra – Somlyódy László: Egy élet a Balaton körül
Holnap Kiadó, Budapest, 2023.
 Nyomtatott verzió: 237 oldal

A Hidrológiai Közöny 2022-ben, a 102/2 kötetben jelentetett meg egy bővebb életútinterjút Somlyódy László (alias Soma) akadémikussal. Emiatt, ekkortájt a szerda délutánokat a budai lakásban tölthettem „Sománál”, aki mesélt a múlttól, a szakmáról, a családról. Már akkor tudtam, hogy készül egy különleges könyv, egy önvallomás, mely a gyerekkortól kezdve átöleli a gazdag életpályát, ablakot tárva egy-egy különleges családi történetre is.



2023. október 1-én, a Budapesti Nemzetközi Könyvfesztiválon kaphattuk kezünkbe ezt a könnyed beszélgetésnek tűnő, ám néha kegyetlenül őszinte írást, melynek címe: Egy élet a Balaton körül.

A könyvben apa és lánya, Somlyódy László és Somlyódy Nóra beszélget. A könyv mesél a családról, a gyökerekről, a többszöri újrakezdésről, az 1950-es és 1960-as évek Magyarországról, mely – hihetetlen, de – megalapozott egy gazdag és eredményes szakmai életet.

A könyv előszavában Szöllösi-Nagy András a tőle megszokott briliáns gondolatokkal csigázza fel az olvasó érdeklődését. Mi is ez a „*Letehetetlen olvasmány*”? „*Korkép és kórkép*”???

Az első fejezetek a család történetén keresztül engednek bepillantást az elmúlt 100 év magyarországi eseményeibe. A többszöri újrakezdés és kitelepítés, a hihetetlen élni akarás és a fanyar humor – mely átsegítette a családot az ötvenes évek szörnyűségein – alapozta meg Somlyódy László szakmai életútját. A könyv második része öleli fel azt a káprázatosan gazdag vizes életpályát, mely – bejárva az egészet világot – a Szellőzőművektől egészen az akadémiai tagságig ível.

Nincs olyan magyar vízügyi szakember, aki ne találna kapcsolódást saját élete, valamint Somlyódy László pályafutása és a könyv eseményei között. A VITUKI-ban töltött évek, az egyetemi oktatás, a balatoni kutatások, a Mindentudás Egyeteme felejthetetlen előadása, vagy a kitűnő szakkönyvek kötnék bennünket, a vizes család tagjait Somlyódy László munkásságához, merítve belőle saját pallérozódásunkra. Az előszó igazat mond: letehetetlen. Ajánlom mindenkinek!

A könyv nyomtatott formában a könyvesboltokban megtalálható, illetve online is megrendelhető.

Dr. Major Veronika
 a Hidrológiai Közöny főszerkesztője

Nekrológ



1950. szeptember 1-én Tolna megyében, Hőgyészen született egy kétgyermekes család idősebb gyermekeként. Gyermekéveit szülőfalujában töltötte, az általános iskolát is ott végezte el. 1964-1969 között Pécsen, a Zipernowszky Károly Gépipari Technikumban tanult és itt szerzett gépészmérnöki oklevelet.

1969. szeptember 1-től Kaposváron, a Somogy Megyei Víz- és Csatornamű Vállalatnál, művezetőként kezdte szakmai pályafutását, majd 1980-tól a vállalat jogutódjánál, a Dunántúli Regionális Vízmű- és Vízgazdálkodási Vállalat Somogy Megyei Igazgatóságán szolgáltatási osztályvezetőként dolgozott.

1983-ban szerzett Baján, a Pollack Mihály Műszaki Főiskola Vízgazdálkodási Intézetében levelező tagozaton vízellátás-csatornázási üzem-mérnöki oklevelet. Kiemelkedő szakmai munkássága után termelésirányító munkakörből került 1987-ben, a Somogy megyei Tanács VB (utóbb a Somogy Megyei Önkormányzat) Műszaki Osztályára és vízügyi csoportvezetőként, vízellátási főmérnöki beosztásban dolgozott. Hatásköre a víziközmű-beruházási és -fejlesztési ügyekben a megye egészére kiterjedt. Tevékenységével elismerésre méltó eredményeket ért el a Somogy megye kis- és hátrányos helyzetű településeinek élő lakosság egészséges ivóvízzel való ellátásában, valamint közreműködött a víziközmű társulatok szervezésében.

1994. január 15-től – az állami víziközmű-vagyon ingyenes önkormányzati tulajdonba adását követő helyhatósági döntés alapján az országban elsőként megalakult és sikeresen pályázó magántulajdonú koncessziós társaság, a Kaposvári Vízművek Kft. ügyvezető igazgatója lett és ezt a tisztséget töltötte be egészen 2009. január 31-ig, a 15 éves koncessziós időszak lezárásáig. 2009. február 1-től a cég az önkormányzati tulajdonú KAVÍZ Kaposvári Víz- és Csatornamű Kft.-ként működött, Ift Miklós a cég ügyvezető igazgatója volt a 2014. december 30-i nyugdíjba vonulásáig.

Ift Miklós

Hőgyész, 1950. szeptember 1. – Kaposvár, 2023. augusztus 19.

Húsz éven át közvetlenül irányította a város víziközműveinek fejlesztését és üzemeltetését.

2004-2014 között a Dél-Dunántúli Vízgazdálkodási Tanács – Dráva Részvízgyűjtő Tanácsának elnöki feladatait is ellátta.

A víziközmű ágazatban pályakezdő korától 45 évet dolgozott, irányítása, közreműködése alatt Kaposvár és a környező települések víziközművei jelentős fejlődésen mentek keresztül, a vízellátás és a szennyvízkezelés területén is. Akkreditált minőségvizsgáló laboratóriumot alakítottak ki. Irányította a víziközmű-cégek térségi integrációját új települések csatlakozásával és a Somogyvíz Kft. beolvasásával, melynek hatására az üzemeltetett ivóvíz- és szennyvíz víziközmű-rendszerek száma 52-re növekedett. Mindezek hatására – országos viszonylatban a legolcsóbb lakossági víz- és csatornadíjak mellett – az üzemeltetett rendszerek állaga, a szolgáltatott ivóvíz- és a tisztított szennyvíz minősége, valamint az üzemeltetés hatékonysága jelentősen javult, az irányítástechnikai rendszer korszerűnek mondható szintre fejlődött és az üzemeltetői vagyon (járművek, gépek, egyéb eszközök) műszaki színvonala, illetve a társaság imázsa is megfelelt a szakmai elvárásoknak.

Számos társadalmi megbízatást vállalt és azokat rendkívüli szorgalommal, alapossággal, fáradhatatlanul látta el. 1975 óta csaknem fél évszázadon át volt a Magyar Hidrológiai Társaság tagja. 2002-2014 között elnöke volt az MHT Somogy megyei Területi Szervezetének, 2007-től 2014-ig alelnöke az MHT-nak, 2014-től 2023-ig pedig tagja az MHT Elnökségének. A Magyar Víziközmű Szövetség vezetésében alelnöki, illetve vezetőségi tag posztokat töltött be. A Somogy vármegyei Mérnöki Kamara alelnökeként tevékenykedett, az MMK Vízgazdálkodási és Vízépítési Tagozat elnökségének aktív tagja volt.

Munkásságának elismeréseképpen több kitüntetést kapott, ezek közül is kiemelendő a Vásárhelyi Pál-díj (2009), a MaVíz Víziközmű Ágazatért Érdemérem (2014), Az MHT-ban végzett sokrétű tevékenységét Pro Aqua emlékéremmel (2009), Bogdánfy Ödön emlékéremmel (2015) és Kvassay Jenő díjjal (2022) ismerték el. 2015-ben a Kaposvár Város Szolgálatáért díjat kapta meg.

1973. május 26-án házasodtak össze egykori általános iskolai osztálytársával, Tóth Erikával. 5 évtizeden át éltek egymással házasságban. Két gyermekük és 5 unokájuk született.

Türelemmel viselt súlyos betegség után 2023. augusztus 19-én, röviddel 73. születésnapja előtt hunyt el. 2023. szeptember 1-én a kaposvári Keleti temetőben helyezték örök nyugalomra.

Emlékét kegyelettel megőrizzük!



*Dr. Szlávik Lajos
az MHT tiszteletbeli elnöke*

Nekrológ



Székesfehérváron a Teleki Blanka Gimnáziumban érettségizett 1970-ben, ahol érdeklődése már korán a művészet és a biológia irányába fordult. 1970-től 1974-ig Pécsen, a Tanárképző Főiskolán tanult, ahol biológia és rajztanári diplomát szerzett; majd 1983-ban a Szegedi József Attila Tudományegyetem Természettudományi Karán kapta kézhez biológia szakos középiskolai tanári diplomáját. 2006-ban az ELTE Környezettudományi Doktori Iskola Biológia Programjában (mikrobiológia szakterületen) sikerrel megvédte PhD értekezését „*A Velencei-tó vizében és üledékében élő baktériumközösségek mennyiségi viszonyainak és aktivitásának összehasonlító vizsgálata*” címmel.

Első munkahelye a Fejér megyei Közegészségügyi és Járványügyi Állomás volt, ahol az Élelmiszer- és Vízmikrobiológiai Laboratóriumban dolgozott 1974 és 1976 között biológusként, majd 1987-ig laboratóriumvezetőként. 1987-től 1990-ig a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Regionális Laboratórium Mikrobiológiai, hidrobiológiai ágazatában dolgozott hidrobiológusként, majd a Vízügyi Igazgatóságból kivált Környezetvédelmi Felügyelőség és utód intézményei biológiai laboratóriumát vezette 2008-ig. 2012-es nyugdíjba vonulásáig szakértőként működött ugyanitt. Nyugdíjas éve alatt sem tudott elszakadni a szakmájától, ekkor vágott bele 2014-ig a WESSLING Hungary Kft. Mikrobiológiai Laboratóriumának, majd 2014-től a KVI-Plusz Környezetvédelmi Vizsgáló Iroda Kft. Vizsgálólaboratóriumában a mikrobiológiai vizsgálatok szakmai irányításába. Szeretett laboratóriumi munkásságát 2019-ben fejezte be végleg. Mindezen munkák mellett 1995-től élete végéig a Nemzeti Akkreditáló Hatóság auditoraként és opponenseként is dolgozott, ahol a környezeti elemek vizsgálatával foglalkozó laboratóriumok minőségbiztosításában végzett szakértő tevékenységet.

1988 óta volt tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak, 1993-tól vett részt a Limnológiai Szakosztály vezetőségének munkájában; 1999-2015 között a szakosztály titkáráként. 2004-től 2018-ig a Vízmikrobiológiai Szakosztály

Reskóné Dr. Nagy Mária

Aba, 1951. október 25. – Székesfehérvár, 2023. augusztus 12.

vezetőségi tagja, 2006-2010-ig annak elnöke volt. Munkásságáért az MHT 2007-ben Pro Aqua, 2012-ben Dr. Schafarzik Ferenc emlékéremmel tüntette ki. Tiszteletbeli „algológusként” a Magyar Algológiai Társaságnak is tagja volt egészen a Társaság 2012-es megszűnéséig.

Szakmai érdeklődése középpontjában elsősorban nagy tavaink (kiemelten a Balaton és a Velencei-tó) ökológiai állapotértékelése volt, éveken át koordinálta a „Balatoni Intézkedési Terv és nagytavaink védelme” című programot. E két víz jelentette számára az igazi szakmai szerelmet. Éveken át tanulmányozta a Velencei-tó érintetlen, kis vizeiben létrejövő szulfurétumokat. Kutatta a kén biogeokémiai körforgalmában jelentős szulfátredukáló baktériumok mennyiségi és mélységi eloszlását. Ezek a baktériumok szulfid termelésük révén károsak lehetnek a vízi makrofitonokra. Tanulmányozta a mikroorganizmusok anyagkörforgalmi szerepét, összefüggést keresett a baktériumközösségek aktivitása, a környezeti változások és az eutrofizálódás között. Évtizedeken át szinte együtt élt a Velencei-tóval, végig követte mai arculatának kialakulását, vízminőségének változását. Vizsgálta a *Microcystis aeruginosa* cianobaktérium okozta vízvirágzás toxikus hatását.

Kollégáit, barátait nemcsak szakmaszeretetre, de emberségre is tanította. Tisztelte és becsülte az életet és a természetet. Az egyik balatoni mintavétel alkalmával megállt a parton, körbemutatott és azt mondta: „Nézzétek, ez maga a csoda. Ide ki tudja tenni a Balaton a habittyát”. (*Habitya: vízen úszó növényi törmelék*)



Pedig ő maga volt a csoda. Örökké mosolygó, mély hittel élő ember volt; nagy szaktudású, segítőkész kolléga, szerető feleség, családjánya, nagymama és igaz jóbarát. Mérföldes az űr, amit maga után hagyott.

Emlékét kegyelettel megőrizzük.

Ács Éva, Borsodi Andrea,
Kiss Keve Tihamér, Teszárné Nagy Mariann



Nekrológ



Forró László középiskolai tanulmányait a komáromi Jókai Mór Gimnáziumban végezte. A kötelező sorkatonai szolgálatot követően 1973-ban a szegedi József Attila Tudományegyetemen biológus hallgatóként kezdte meg tanulmányait, majd 1975-ben az ELTE-n folytatta, ahol 1978-ban okleveles biológus diplomát szerzett.

1978. augusztus 1-től a Magyar Természettudományi Múzeum Állattárában dolgozott, ahol taxonómusként a „Rákok és egyéb vízi gerinctelenek gyűjteménye” csoportot rendszerezte, majd igazgatóként irányította az Állattár munkáját. Nyugdíjba vonulása után ugyanitt önkéntesként dolgozott tovább. Elkötelezett kutatóként 1981-ben egyetemi doktori címet szerzett, majd 1996-ban az MTA kandidátusi tudományos fokozatát nyerte el.

Érdeklődése elsősorban a planktonikus kistráka fauna kutatása felé irányult, a *Cladocera* és *Copepoda* csoportok taxonómiai, faunisztikai és ökológiai tanulmányozásával foglalkozott. Több évtizedes munkássága alatt ezeknek az élőlényeknek kiváló ismerője, szakértője lett. Nemzetközi tudományos elismertségét mutatja, hogy 1985-ben nagy sikerrel szervezte meg Budapesten az első nemzetközi Cladocera szimpóziumot, amely azóta is az egyik legfontosabb találkozója az ágascsapú rákok taxonómiájával és ökológiájával foglalkozó szakembereknek. Muzeológusként kiemelt figyelemmel gondozta és gyarapította Daday Jenő világhírű rákgyűjteményét, több külföldi kutatót is fogadott az intézetben ennek tanulmányozására.

Faunisztikai és taxonómiai kutatásokat végzett a hazai nemzeti parkok, tájvédelmi körzetek kistrák közösségének felmérésében. Részt vett a Nemzeti Biodiverzitás Monitorozó Rendszer kidolgozásában. Haláláig folytatta a Szigetköz és a Fertő-tó biológiai monitorozását. Szakmai érdeklődése sokféle víztípust érintett. Külön figyelmet fordított az időszakos kisvizek, tócsák, szikes vizek vizsgálatára, felismerve ezek jelentőségét a biodiverzitás fenntartásában. Több témában is értékes kutatási eredményei vannak: szubfosszilis cladocerák paleolimnológiai indikátor értékének vizsgálata, a planktonikus kistrákok

Dr. Forró László

Szőny, 1954. január 14. – Budapest, 2023. február 18.

táplálékforrás szerepének felmérése, egyes rákfajok genetikai vizsgálata. Több magyarországi barlangrendszer faunájának feltárásában is közreműködött. A Bükk hegységi Diabáz barlangban élő endemikus vakbolharák faj Forró László nevét viseli: *Niphargus forroi* G. KAMARAM, 1986.

Fontosnak tartotta a nemzetközi kapcsolatokat, konzultációkat. Európa több országában, Közel- és Távols-Keleten, Kanadában járt tanulmány- és gyűjtőúton. Rendszeres résztvevője, előadója volt nemzetközi és hazai tudományos fórumoknak: Cladocera szimpózium, Copepoda konferencia, SIL kongresszus, Ausztriában a Neusiedler See Tagung, MHT Limnológiai Szakosztály, Magyar Biológiai Társaság Állattani Szakosztálya.

Elkötelezettje volt a hazai hidrobiológus szakemberképzésnek. Óraadóként részt vett az Állatorvostudományi Egyetem zoológus képzésében. A Zootaxonomia egységes jegyzetben a „Rákok altörzse” című fejezetet dolgozta ki. A Debreceni Egyetem Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola és az ELTE Biológia Doktori Iskola oktatójaként több egyetemi, illetve PhD hallgató témavezetője volt.

A Magyar Természettudományi Múzeum *Miscellanea Zoologica Hungarica* folyóiratának 1989-2000 között, annak megszűnéséig szerkesztője volt.

Tagja volt a Nemzetközi Limnológiai Társaságnak (SIL), a Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztályának, a Magyar Biológiai Társaságnak, a World Association of Copepodologistsnak, valamint a Magyar Tudományos Akadémia Hidrobiológiai Bizottságának.

Kutatóként több, mint 100 tudományos közleménye jelent meg. Szakmai elismertségét jelzi az ezekre kapott közel 1200 hivatkozás és 940 független idézettség. Rendkívül széleskörű fajismeretét tanúsítják gazdag taxonómiai és faunisztikai publikációi. Hiánypótló és a hazai kutatók számára igen fontos művei „Az Ágascsapú rákok (*Cladocera*) (1999) kishatározója”, valamint „Az Evezőlábú rákok (*Copepoda*) (2001) kishatározója”, melyeket Gulyás Pállal közösen állítottak össze.

Tudományos publikációi mellett fontosnak tartotta az ismeretterjesztést is. Kiváló nyelvtudásának köszönhetően több angol és német nyelvű szakkönyvet fordított, illetve közreműködött azok fordításában, szerkesztésében.

Forró László nemzetközileg elismert hidrobiológus, taxonómus gazdag életművet hagyott hátra. Személyében nagy tudással rendelkező, rendkívül szerény, mindig segítőkész kollégát veszítettünk el. Hiánya pótolhatatlan veszteséget jelent a magyar és nemzetközi limnológia számára.

Emlékét kegyelettel megőrizzük.

Dr. Zsuga Katalin, Dr. Korponai János



Nekrológ



Nem szeretem a váratlan telefonhívásokat. 2022 szeptemberében jelzett a mobilom és a kijelzőn dr. Scheuer Gyula neve jelent meg. Akkor már hosszú évek óta nem találkoztunk, így meglepett a hívás. A már jól ismert, kissé rekedt hangot hallottam: „Szervusz Sanyikám”, amit aztán fél percnyi nagyon erős köhögés követett. Azt hittem véletlenül hívott fel, esetleg rosszul van. Megijedtem. Kiderült, hogy azért keresett, mert találkozni szeretne velem. Egy órán belül nála voltam. A szokásos huncut mosollyal fogadott és szinte egyből azt kérdezte: „Na, és vitted valamire Sanyikám?”. Hát, az attól függ – mondtam halkán, félig magamnak. Sokat fogyott, de a szeme ugyanolyan lelkesedéssel csillogott, mint 17 éve, amikor megismertem, vagy amikor terepen voltunk és meglátta „a Mészkövet”. Mert neki az édesvízi mészkő, a travertínó volt „a Mészkö”, csak így egyszerűen. Közös terepbejárásaink során – legyen az egy árok szélén fekvő kődarab – számtalanszor kiáltott fel, hogy „Ott a Mészkö!”, mintha valami csodát látott volna. Ezt követően rendszerint számos fotót készített a kőzetről.

Utolsó találkozásunk alkalmával fényképeket mutatott az utazásairól. Cikkeket, könyveket, fotókat adott nekem és a cikkterveiről beszélt. 91 évesen egyszerre 3 új anyag megírása is foglalkoztatta. Tele volt tervekkel! Szobájának polcain saját kiadású, színes fotókkal gazdagon illusztrált könyvei sorakoztak, amelyeket a 2000-es években szinte évente adott ki és ezek a könyvek egytől-egyig az én irodámban is ott vannak a polcon, mivel mind-egyikből kaptam egy példányt. 61 országban járt. „Fáradtságot és az anyagiakat sem kímélve” körbe utazta a Földet. Látta a Yellowstone Nemzeti Park gejzirjeit, Pamukkale lenyűgöző tataráta képződményeit, Észak- és Dél-Amerika, Afrika, Ázsia, Ausztrália, Új-Zéland travertínóit, gejzirjeit, hidrotermáit. Mindent. Gyönyörködött a képződmények szépségében, változatosságában. Gyűjtötte a Mészkövet és ahol alkalma nyílt rá, ott a karszt- és termálföldet is, aminek főként a nyomelem-összetétele foglalkoztatta az utóbbi években. Ha nem tudott eljutni valahova, akkor megkért valakit, hogy hozzon neki kőzet és vízmintát. Voltam én is ilyen postás. Hoztam neki travertínó és vízmintákat Toscanából. Utoljára 2023 áprilisában keresett azzal, hogy írt egy cikket és szeretne adni belőle egy példányt. Kért, hogy mindenképp menjek el hozzá, ha lesz egy kis időm. Épp egy lengyel konferenciára készültem így nem jutottam el hozzá. Aztán jött a nyár és ugyan hétről hétre beírtam a naptáramba, hogy felkereksem, végül erre már nem kerülhetett sor.

Dr. Scheuer Gyula

Budapest, 1931. szeptember 26. – 2023. szeptember 22.

Ugrás az időben, visszafelé. Még nem ismerhettem akkor, amikor 1955-ben okleveles geológusként végzett az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, ahol 1964-ben egyetemi doktori címet szerzett a Budapesti hévizek földtana című értekezésével. 1984-ben a földrajzi tudományok kandidátusa lett a Gerecse és a Budai-hegység édesvízi mészkövei c. tanulmányával. 1955-ben a Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat (FTV) Mérnökgeológiai Irodáján kezdte meg szakmai tevékenységét. 1962-1966 között irányító tervező, majd szakosztály-, 1973-tól az Építésföldtani- és építéshidrológiai Osztály vezetője, 1984-től irodavezető-helyettes, szakági főgeológus volt. 1992-ben vonult nyugdíjba. Ezt követően 1994-1996 között a Geodéziai, Geotechnikai és Környezetvédelmi Zrt. szakértője, majd 2015-ig a Víz-Föld-Védelem Bt. ügyvezetője volt, ahol hidrológiai és környezetvédelmi szakértői tevékenységet folytatott.

Több évtizedes pályafutása során számos szakmai elismerésben részesült. A Magyarhoni Földtani Társulat Mérnökgeológiai Szakosztályának vezetőségi tagja, 1979-1992 között a Mérnökgeológiai Szemle szerkesztője volt. A Magyar Hidrológiai Társaság munkájában 1955 óta vett részt a Budapesti, majd a Közép-Duna-völgyi Területi Szervezetben. A Hidrogeológiai Szakosztály vezetőségének több cikluson át volt tagja, 1998-tól titkára, 2004-től 2010-ig elnöke, 2011-2016 között a Vízügyi Történelmi Bizottság tagja. Társasági kitüntetései: Zsigmondy Vilmos emléklap (1971), Schafarzik Ferenc emlékérem (1980), Vitális Sándor szakirodalmi díj (2005, 2013), Tiszteleti tag (2006). A Vízügyi Főigazgatóságtól a Vízügy Kiváló Dolgozója (1967) elismerésben részesült. A Központi Földhivattól a Földtani Kutatás Kiváló Dolgozója (1975); az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztériumtól az Építőipar Kiváló Dolgozója (1986) kitüntetést kapta.

Hosszú és sikeres szakmai pályafutása alatt végig azzal foglalkozhatott, amit a leginkább szeretett és ebben a családjában is támogatta. Igazi szenvedéllyel járta a világot, mindenhol a mészkövet kereste. Elhivatottsága, szakmai felkészültsége, kutatói kíváncsisága és a geológia-hidrogeológia szakma iránti alázatossága példaértékű volt. Munkatársai mindig elismeréssel és szeretettel tekintettek fel rá. Magyarország földtani és hidrológiai adottságairól példanélküli ismeretekkel rendelkezett. Emlékét és munkásságát több mint 10 könyv, könyvfejezet és mintegy 450 (részben társszerzőkkel és idegen nyelven is megjelent) folyóirat cikk, jelentés, tanulmány őrzi. Több mint 500 szakvéleményt készített, vagy közreműködött és irányított. Nagyon sok mindent köszönhetek neki. Megtiszteltetés és egyben fájdalmas feladat volt, hogy ezt a megemlékezést megírhattam róla.

Emlékét kegyelettel megőrizzük.



Kele Sándor
HUN-REN CSFK,
Földtani és Geokémiai Intézet

Nekrológ



Okleveles mérnök (ÉKME 1959), okleveles alkalmazott matematikus (ELTE TTK 1968), okleveles hidrológus (Nemzetközi Hidrológiai Továbbképző Tanfolyam, Madrid 1982), egyetemi doktor (BME 1971).

Munkásságát 1959-ben a Szegedi VIZIG belvízvédelmi csoportjában és a hódmezővásárhelyi szakaszmérnökségen kezdte, majd 1961-2010 között, csaknem fél évszázadon keresztül volt a VITUKI kutatója, csoport-, ill. osztályvezetője, tudományos főmunkatársa. Fő munkaterületei elsősorban a hidrológia és vízkészlet-gazdálkodás témáihoz kötődtek, a felmerült kérdések elméleti-matematikai megoldásai foglalkoztatták. Kutatási témái között szerepelt a felszíni vizek hidrológiája, a vízgazdálkodási mérleg és a vízhiány-tűrés elmélete, a vízgazdálkodási tározók hidrológiai méretezése, a hidrológiai statisztika alkalmazásai, a szimulációs modellek és az éghajlatváltozás.

Részt vett a II. Országos Vízgazdálkodási Kereterv (1960-1965) elkészítésében. Oktatóként működött az ELTE TTK-n, a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen, a BME szakmérnök-képzésében, valamint az UNESCO budapesti Nemzetközi Hidrológiai Továbbképző tanfolyamaiban. Az ELTE Idegennyelvi Továbbképző Központjában, az Állami Nyelvvizsga Bizottságban az angol, német, olasz és spanyol nyelvvizsgák vízügyi szakmai cenzora volt, továbbá német vízügyi szaknyelvet oktatott.

Szakértőként vett részt nemzetközi szervezetek (ENSZ/EGB, Duna Bizottság) munkájában. Többéves kormányközi együttműködési programok megvalósításában dolgozott az NSZK-ban, az USA-ban, Olaszországban és Ausztriában. 1992-2010 között az UNESCO Nemzetközi Hidrológiai Program (NHP) és a WMO Operatív Hidrológiai Program Magyar Nemzeti Bizottságának titkára volt. 1971-2010 között a Duna vízgyűjtőjében lévő, kezdetben

Dr. Domokos Miklós

Pécs, 1935. október 14. – Budapest, 2023. október 12.

8, majd 13 ország hidrológusainak az NHP égisze alatt folyó tudományos együttműködésében vezető szerepet játszott. Az együttműködés eredményeként megjelent számos kiadványnak szerkesztője, illetve társszerzője volt.

Két ízben (1974, 1986) elnyerte a Magyar Tudományos Akadémia kutatási pályázat díját.

Előadó körutat tett Olaszországban, Lengyelországban, az NSZK-ban, az USA-ban és Ausztriában. Szakirodalmi munkásságát mintegy 210 bel- és külföldi szakkikk, valamint több szakkönyv magyarra fordítása jelzi. Rendszeresen publikált nemzetközi folyóiratokban német, angol és olasz nyelven.

Szakkikkeivel két ízben (1984, 1989) elnyerte az MHT Vitális Sándor szakirodalmi díját.

1959-től tagja a Hidrológiai Társaságnak, ahol 64 éves tagsága során több fontos tisztséget betöltve kiemelkedő szakmai munkát végzett. 1985-1993 között a Vízgazdálkodási Szakosztály elnöke, 2006-2014 között a Vitális Sándor Szakirodalmi Díj Bizottságának az elnöke, 2012 óta az MHT Vízügyi Történelmi Bizottságának a tagja volt. 1968-tól több, mint öt évtizeden át volt a Társaság szakfolyóiratának, a Hidrológiai Közlönynek szerkesztő bizottsági tagja. A Társaság nemzetközi kapcsolatainak ápolásában is aktívan közreműködött. Rendszeres előadója volt az MHT országos vándorgyűléseinek.

1966-ban megkapta a „Vízgazdálkodás Kiváló Dolgozója” kitüntetést. Az MHT részéről számos kitüntetésben, elismerésben részesült: Vásárhelyi Pál emléklap (1967), Sajó Elemér emléklap (1974), Pro Aqua emlékérem (1983), Bogdánfy Ödön emlékérem (1991) Kvassay Jenő díj (1998). 2013-tól az MHT Tiszteleti Tagja volt. 2021-ben a vízgazdálkodás területén végzett több, mint hat évtizedes munkásságáért, társadalmi tevékenységéért, életművének elismeréseként – az MHT javaslatára – Vásárhelyi Pál Díj kitüntetésben részesült.

Nagyon szerette a komolyzenét, kiválóan játszott orgonán és zongorán, hobbija volt a kamarazenélés, a brids és a képzőművészeti érmek gyűjtése.

1960-ban házasodtak össze Gombosi Máriával, aki alkalmazott matematikus volt. 63 éven át éltek házasságban. Két gyermekük született: 1961-ben Gábor, aki építésmérnök és 1963-ban György, aki alkalmazott matematikus és olasz nyelvész lett. Hét unokájuk és két dédunokájuk született.

2023. október 12-én, két nappal 88. születésnapja előtt váratlanul elhunyt.

Emlékét kegyelettel megőrizzük.



Dr. Szlávik Lajos
az MHT tiszteletbeli elnöke

Nekrológ



A Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán, az Áramlástechnikai Ágazaton 1962-ben gépészmérnöki, majd az Építőmérnöki Karon 1970-ben vízellátás-csatornázási szakmérnöki diplomát szerzett.

Pályafutását 1962-ben a GANZ-MÁVAG Gépgyár Vízgéptervezői irodáján, gyártmánytervező mérnöknek kezdte, ahol a nagy teljesítményű vízturbinák teljesítmény-szabályozásával és a különleges, nagy átmérőjű elzárószerkezetekkel foglalkozott.

1966-tól 2000-ig a Fővárosi Vízműveknél dolgozott különböző beosztásokban. 1970-1971-ben a Fővárosi Tanács Közmű osztályának vezetője volt. A Fővárosi Vízműveknél először üzemeltető mérnök, majd a Víztermelési osztály vezetője. Ezt követően 21 éven át főosztályvezető, majd főmérnök. 1993-tól 2000-ig a Fővárosi Vízművek Zrt. műszaki, majd szolgáltatási igazgatója volt.

Már főosztályvezetőként a budapesti vízellátás teljes víztermelési és elosztási rendszerének irányítása és a vízminőség ellenőrzése volt a feladata, a hibaelhárító és karbantartó munkák vezetésével együtt. Speciális ismereteket szerzett a nagy átmérőjű elzáró szerkezetek, a nagy teljesítményű folyadékáram-mérők és az ózonos ivóvízkezelés területén. Nevéhez fűződik a csapózárok, az indukciós és ultrahangos vízmennyiség mérők, valamint a folyékony oxigénből történő ózonfejlesztés bevezetése a magyar víziközmű szolgáltatás gyakorlatába.

Műszaki, majd szolgáltatási igazgatóként a teljes budapesti vízellátás működtetéséért, rekonstrukciójáért és fejlesztéséért felelt. Sokat tett a Fővárosi Vízművek és a hazai ivóvízellátás színvonalának nemzetközi elismertetése érdekében.

Munkahelyi feladatai mellett mindig nagy gondot fordított a szakmai önképzésre, tapasztalatai átadására, vala-

Várszegi Csaba

Budapest, 1939. augusztus 22. – Budapest, 2023. november 16.

mint a hazai és a külföldi szakmai társaságok munkájában való részvételre. Egész életében a víziközmű üzemeltetés szakterületen dolgozott, de mindig szakított időt ismeretnek tudományos szinten való továbbadására. Mintegy fél-száz megjelent szakcikke, valamint hazai és nemzetközi konferenciákon tartott előadásai jelzik tudományos aktivitását. 1988-ban szerzőtársaival együtt „A budapesti vízművek új ózonfejlesztő telepével kapcsolatos tapasztalatok” című tanulmányukért megkapták az MHT Vítális Sándor szakirodalmi díját.

Részt vett hazai és külföldi szakmai társaságok munkájában, valamint több nemzetközi szakbizottság tagja volt. Az IWSA (Nemzetközi Vízellátási Szövetség) Magyar Nemzeti Bizottságának tagjaként része volt abban, hogy 1993-ban Budapest rendezhette meg az IWSA világkongresszusát. A Nemzetközi Ózon Világszövetség (IOA) Afrika-Európa Boardjának igazgatója volt 10 éven keresztül.

2000-től (már nyugdíjasként) a Víz- és Csatornaművek Országos Szakmai Szövetsége (VCSOSzSz), utóbb Magyar Víziközmű Szövetség (MaVíz) szervezeténél dolgozott, mint szaktanácsadó és szakértő. 2000-2012 között magánvállalkozóként szakvélemények sokaságával az egész ország vízellátási szakterületén kamatoztatta tapasztalatait. A MaVíz-nél egészen 2019 decemberéig aktívan közreműködött az ágazati munkában, szíven viselte mind az Üzemeltető, mind pedig a Vízipari Tagszervezetekkel való együttműködést.

Munkásságát számtalan szakmai kitüntetéssel ismerték el, többek közt a MaVíz Reitter Ferenc-díjjal (2012), valamint – szakmai életművéért – a Belügyminisztérium Várszegi Pál-díjjal (2019).

A Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) munkájában 1967 óta, 56 éven át aktívan részt vett. A Vízellátási Szakosztályban évtizedeken át vezetőségi tag, 1999-től 2020-ig pedig mint elnök dolgozott. Évről-évre aktív szerepet vállalt az MHT országos vándorgyűlésein a vízellátási szekció megszervezésében és az üléseinek lebonyolításában. Több évig tagja volt az MHT Nemzetközi Kapcsolatok Bizottságának, valamint az MHT Elnökségének és a Kitüntetési Bizottságnak.

Tudását és vitathatatlan szakmai érdemeit az MHT 1978-ban Pro Aqua emlékéremmel, 1999-ben Bogdánfy Ödön-emlékéremmel, 2006-ban pedig Kvassay Jenő díjjal ismerte el. 2010-ben megkapta az MHT Tiszteleti Tagja kitüntetést.

Emlékét kegyelettel megőrizzük.



*Dr. Szlávik Lajos
az MHT tiszteletbeli elnöke*

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 (http://www.hidrologia.hu/mht/letoltes/hk_kozlesi_utmutato.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.

A Hidrológiai Közlöny fontos célkitűzése a szakmai anyanyelv ápolása, ezért kérjük, hogy ügyeljenek a magyar szakmai nyelv megfelelő használatára és alkalmazzák a magyar helyesírási szabályokat (<http://helyesiras.mta.hu/helyesiras/default/akh12>).

A Hidrológiai Közlöny Szerkesztőbizottsága

A lapszám a Magyar Kultúráért Alapítvány mint „Támogató”, és a Petőfi Kulturális Ügynökség, mint „Kezelő szerv” támogatásával jött létre.

**Petőfi
Kulturális
Ügynökség**

