

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY

HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 106. ÉVF. 3. SZÁM • 2026
JOURNAL OF THE HUNGARIAN HYDROLOGICAL SOCIETY • VOL. 106, ISSUE 3 • 2026



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



Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

Főszerkesztő

Major Veronika

Főszerkesztő-helyettes és olvasószerkesztő

Konecsny Károly

Szakszerkesztő

Ács Éva

Szerkesztőbizottság elnöke

Szöllősi-Nagy András

Szerkesztőbizottság tagjai

Ács Éva, Bakonyi Péter, Baranya Sándor, 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, Melicz Zoltán, Nagy László, Pálvolgyi Tamás, 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

Józsa János, Baranya Sándor, Timár Gábor: Rekord kisvizek
Magyarországon: mi történik a folyóinkkal? 4

Kozák Péter, Szalma Elemér: Táji vízigény/készlet és a meglévő
vízgazdálkodási infrastruktúra viszonya és konfliktusai 9

Verrasztó Zoltán: Vízháztartási sérülékenységi a Kárpát-medencében:
a táj vízmegtartó funkciójának hidrológiai jelentősége 18

Fóris Attila: A nyílt vízfelület tényleges párolgásának alakulása a
Tisza magyarországi szakaszán különböző becslési módszerek
alapján 26

Nagy Judit Barbara, Hajnal Géza, Szieberth Dénes, Torma Péter:
A Hévízi-tó vízháztartásának vizsgálata 41

Luczó Ádám: Az építményinformációs modellezés (BIM)
felhasználási lehetőségei az árvíz- és belvízvédelemben 54

FÓRUM

Gondolatok az egykori VÍZGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOS
KUTATÓ INTÉZET-ről egy új VÍZGAZDÁLKODÁSI
TUDOMÁNYOS KUTATÓ KÖZPONT-ért! 67

Lányi András: Válasz Hajnal Gézának 69

ESEMÉNY

Hamar Barbara, Major Veronika: A Magyar Hidrológiai Társaság
XLIII. Országos Vándorgyűlése, Gödöllő, 2026. július 1-3. 71

IFJÚSÁGI SAROK

Hatalmas magyar siker a 2026-os Stockholm Junior Water Prize
nemzetközi döntőjében 76

NEKROLÓG

Tóth József – Szanyi János, Kovács Balázs és Almási István
megemlékezése 77

Szabó Mátyás – Szlávik Lajos megemlékezése 79

Csatári András – Csatári Ákos és Rosza Péter megemlékezése 80

Címlapkép: Az Ínség-szikla a Duna budapesti szakaszán, a 2026. nyári kisvizek
idején (Konecsny Károly)



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, Sándor BARANYA, 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 KERESKÉSNÉ STEINDL, Gábor KEVE, Zoltán KLING, Károly KONECSNY, Kálmán KORIS, Sándor KOVÁCS, István LICSKÓ, Zoltán MELICZ, László NAGY, Tamás PÁLVÖLGYI, Judit RÁKOSI, István RÁTKY, Pál ROMÁN, Ferenc SZILÁGYI, Lajos SZLÁVIK, Péter SZÜCS, János TAMÁS, Gábor UNGVÁRI

Publisher

Hungarian Hydrological Society
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary
Phone: +36-(1)-201-7655,
Fax: +36-(1)-202-7244
Email: titkarsag@hidrologia.hu
Web: www.hidrologia.hu
Represented by: József VÁRADI,
Co-President of the Hungarian Hydrological Society



Indexed in

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

Contents

Veronika MAJOR: Foreword 3

SCIENTIFIC PAPERS

János JÓZSA, Sándor BARANYA, Gábor TIMÁR: Record low water levels in Hungary: what is happening to our rivers? 4

Péter KOZÁK, Elemér SZALMA: The relationship and conflicts between landscape water demand/supply and existing water management infrastructure 9

Zoltán VERRASZTÓ: Water management vulnerability in the Carpathian Basin: the hydrological significance of the water retention function of the landscape 18

Atila FÓRIS: Trends in actual evaporation from open water surfaces along the Hungarian section of the Tisza River based on various estimation methods 26

Judit Barbara NAGY, Géza HAJNAL, Dénes SZIEBERTH, Péter: TORMA: Investigation of the water balance of Lake Hévíz 41

Ádám LUCZÓ: The uses of Building Information Modeling (BIM) in flood and excess water management 54

FORUM

Open Letter: Reflections on the former RESEARCH INSTITUTE for WATER RESOURCES DEVELOPMENT for a new RESEARCH CENTER for WATER RESOURCES MANAGEMENT 67

András LÁNYI: Response to Géza HAJNAL 69

EVENTS

Barbara HAMAR, Veronika MAJOR: The 43rd Annual Itinerant Conference of the Hungarian Hydrological Society 71

YOUTH CORNER

World-class Hungarian success at the international final of the 2026 Stockholm Junior Water Prize 76

OBITUARY

József TÓTH: Commemoration of János SZANYI, Balázs KOVÁCS and István ALMÁSI 77

Mátyás SZABÓ: Commemoration of Lajos SZLÁVIK 79

András CSATÁRI – Commemoration of Ákos CSATÁRI and Péter ROSZA 80

Cover photo: The Ínség Rock (Rock of Poverty) on the Budapest section of the Danube, during the summer low tides of 2026 (Károly KONECSNY)

Előszó



A rendkívül vízhiányos tavasz után egy extrém száraz nyár sújtja hazánkat. A feljegyzések szerint – a címlapunkon lévő – az aszály jelképévé vált Ínség-szikla már 1841-ben, 1857-ben és 1863-ban is kidugta fejét a Dunából a Gellért-hegy lábánál. 2018 őszén – amikor a

Duna az addig mért rekordalacsony, 33 centiméteres szintig apadt – a szikla szinte teljes egészében szárazra került. A globális felmelegedés és a szélsőséges időjárás miatt az Ínség-szikla felbukkanása az utóbbi években – így 2022-ben, 2025-ben és 2026-ban is – egyre gyakoribbá vált. Szomorú tény, de a Dunán 2026 szeptemberében a budapesti vízmércén mért 0 centiméteres vízállás 33 centiméterrel haladta alul az eddig mért legalacsonyabb vízszintet. Ezért folyóiratunk ismételtelen kiemelten foglalkozik az aszályval és a kisvizekkel.

A Hidrológiai Közlöny Tudományos Közlemények rovatában két írás is az aszályra fókuszál.

Józsa János, Baranya Sándor és Timár Gábor „Rekord kisvizek Magyarországon: mi történik a folyóinkkal?” című írása – mely szakmai jövőképet vázol fel – Pósfai Mihálynak, az MTA elnökének a felkérésére készült 2026 augusztusának első napjaiban.

Mennyi vízre van igénye egy területnek? Erre az egyre gyakrabban felmerülő kérdésre ad választ Kozák Péter és Szalma Elemér „Táji vízigény/készlet és a meglévő vízgazdálkodási infrastruktúra viszonya és konfliktusai” című, új gondolatokat tartalmazó közleménye.

A fenntartható vízgazdálkodás és a tájgazdálkodás összefonódó kapcsolatát mutatja be Verrasztó Zoltán „Vízháztartási sérülékenység a Kárpát-medencében: a táj vízmegtartó funkciójának hidrológiai jelentősége” című írása.

Fóris Attila „A nyílt vízfelület tényleges párolgásának alakulása a Tisza magyarországi szakaszán különböző becslési módszerek alapján” című közleménye a vízmérleg egyik fontos elemének becslésére ajánl módszereket. A tanulmány újdonsága, hogy hosszú idősoron, a Tisza teljes magyarországi szakaszán hasonlítja össze a párolgásbecslési módszereket.

Egy aktuális témát dolgoz fel Nagy Judit Barbara, Hajnal Géza, Szieberth Dénes és Torma Péter „A Hévizi-tó vízháztartásának vizsgálata” című írása. Az eredmények hozzájárulnak a Hévizi-tó hidrológiai működésének pontosabb megértéséhez és a fenntartható vízgazdálkodási döntések megalapozásához.

A BIM egy 3D alapú, adatvezérelt tervezési módszer, amely az építmények teljes életciklusát (tervezés, kivitelezés, üzemeltetés) támogatja. A 31/2024. ÉKM rendelet értelmében alkalmazása állami beruházásoknál kötelező, 2035-ig pedig minden állami létesítményt – köztük a vízügyi infrastruktúrát is – utólagosan modellezni kell a hatékonyabb tervezés, kivitelezés és üzemeltetés érdekében. Luczó Ádám „Az építményinformációs modellezés

(BIM) felhasználási lehetőségei az árvíz- és belvízvédelemben” című közleménye három külföldi esettanulmány vizsgálatával mutatja be a BIM-környezet alkalmazásának lehetőségét az árvíz- és belvízvédelemben.

A „NYÍLT LEVÉL – Gondolatok az egykori VÍZGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOS KUTATÓ INTÉZET-ről egy új VÍZGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOS KUTATÓ KÖZPONT-ért!” című írás, melyet az egykori kutató központ munkatársai írtak alá, a döntéshozók figyelmét hívja fel arra, hogy napjainkban egyre sürgetőbbé válik egy olyan kutatóhely újbóli megalapítása, melynek feladata az ország vízkészleteivel kapcsolatos tudományos kutatás, mérés, elemzés, operatív előrejelzés, műszaki fejlesztés és kutatás-koordináció lenne.

Hidrológiai Közlöny 2026. évi 2. számában tettük közzé Hajnal Géza „Szegény vízmérnök panasza Lányi András Karátson Gáborról szóló könyvét olvasván” című írását. A FÓRUM rovatban most Lányi András „Válasz Hajnal Gézának” című üzenetét közöljük, remélve, hogy idővel a Bős-Nagymaros-ügyben „A harcot, amelyet őseink vívtak, békévé oldja az emlékezés”.

Az Események rovatban a Magyar Hidrológiai Társaság XLIII. Országos Vándorgyűléséről számolunk be, melynek Gödöllőn a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent István Campusra adott helyet.

Az Ifjúsági sarok rovatunkban büszkeséggel és örömmel számolunk be a 2026-os Stockholm Junior Water Prize nemzetközi döntőjéről, ahol a 15 éves Ivánka Laura a „Diploma of Excellence” díjat nyerte meg.

Nekrológ rovatunkban Szanyi János, Kovács Balázs és Almási István megemlékezésével tisztelettel búcsúzunk Tóth József professzor úrtól, aki saját iskolát teremtve hidrogeológusok egész generációját nevelte ki a világ minden tájáról, szakértőként pedig öt kontinens számos országában megfordult.

Szlávik Lajos megemlékezésével veszünk búcsút Szabó Mátyástól, a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság egykori igazgatójától, aki munkásságával maradandó értéket teremtett a vízügyi szolgálat és a közösség javára.

Szintén a Nekrológ rovatunkban búcsúzunk Csatári Andrástól, aki a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet (VITUKI) munkatársaként több mint fél évszázadon keresztül volt a hazánkban zajló vízrajzi mérések egyik meghatározó alakja.

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

A Hidrológiai Közlöny 2026. évi angol kötete már kiadásra került. Azonban a 2027-es kötetünkhöz ismételtelen várjuk a magyar nyelvű dolgozatokhoz hasonlóan magas tudományos színvonalú angol nyelvű közleményeket!

Major Veronika
a Hidrológiai Közlöny főszerkesztője

Rekord kisvizek Magyarországon: mi történik a folyóinkkal?

Józsa János¹, Baranya Sándor², Timár Gábor³

¹ az MTA rendes tagja és Nemzeti Víztudományi Programja Irányító Testületének elnöke (e-mail: jozsa.janos@epito.bme.hu)

² BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéke tanszékvezető egyetemi docense (e-mail: baranya.sandor@emk.bme.hu)

³ az MTA doktora, az ELTE TTK Geofizikai és Űrtudományi Tanszékének tanszékvezetője (e-mail: timar.gabor@ttk.elte.hu)

DOI: 10.59258/hk.24792



Kivonat

A felmelegedés, a növekvő párolgás, a szélsőséges csapadékesemények és a hosszabb száraz időszakok miatt egyre gyakoribbá válhatnak az extrém hidrológiai események, mind a kisvizek, mind az árvizek. A kisvizek következményeit a hazai folyók jelentős részén évtizedek óta tartó medermélyülés is súlyosbítja. Nem lesz minden év ilyen, de a most extrémnek látszó helyzetek gyakorisága növekedni fog, ezért ezzel stratégiai és tervezési szinten is számolni kell. A folyók természetes viselkedésének helyreállítása, a vízvisszatartás növelése, a tájhasználat átalakítása, a hordalékgazdálkodás fejlesztése, a meglévő műszaki létesítmények korszerűsítése vagy akár új vízügyi infrastruktúrák alkalmazása egymást kiegészítő eszközök lehetnek. Józsa János, Baranya Sándor és Timár Gábor írása Pósfai Mihálynak, az MTA elnökének felkérésére készült 2026 augusztusának első napjaiban.

Kulcsszavak

Duna, kisvizek, táj, klímaváltozás, Kárpát-medence, Magyarország.

Record low water levels in Hungary: what is happening to our rivers?

Abstract

Due to warming, increasing evaporation, extreme precipitation events, and longer dry periods, extreme hydrological events – both low water levels and floods – may become increasingly frequent. The consequences of low water levels are also exacerbated by the deepening of the riverbeds of a significant part of Hungarian rivers which has been going on for decades. This will not happen every year, but the frequency of situations that now seem extreme will increase, so this must be considered at the strategic and planning levels. Restoring the natural behavior of rivers, increasing water retention, transforming landscape use, developing sediment management, modernizing existing technical facilities, or even using new water infrastructures can be complementary tools. The article by János Józsa, Sándor Baranya, and Gábor Timár was written at the request of Mihály Pósfai, President of the Hungarian Academy of Sciences, in the first days of August 2026.

Keywords

Danube, small waters, landscape, climate change, Carpathian Basin, Hungary.

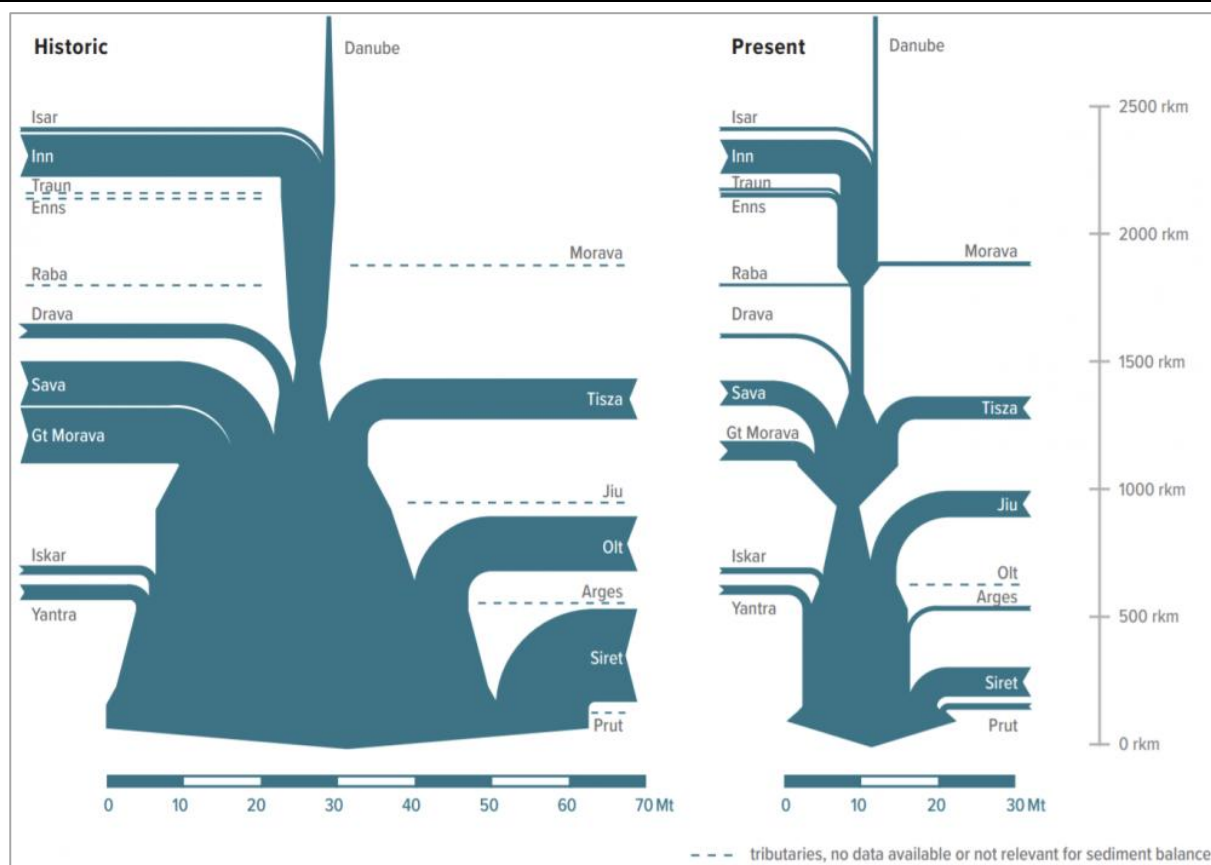
TÖRTÉNELMI DUNAI KISVÍZ: EGYSZERI ESEMÉNY, VAGY ÍZELÍTŐ A JÖVŐRŐL?

A magyar vízgazdálkodás több mint egy évszázadon keresztül elsősorban a "túl sok víz" problémájára keresett megoldásokat. Árvízvédelem, belvízlevezetés, folyószabályozás – ezek a feladatok határozták meg a mérnöki gondolkodást. A 21. században azonban egyre gyakrabban fordul elő az ellenkező véglet: nem a víztöbblet, hanem egyre nagyobb mértékben a vízhiány válik a legnagyobb kihívássá. A 2026 nyarán bekövetkezett, rekordközeli dunai kisvíz ennek a változásnak látványos figyelmeztetése, ahogy az idei év és az elmúlt évek ismétlődő aszályai is az Alföldön, és most már szinte az ország egész területén. Mérnöki szemléletünknek is ehhez kell formálódnia: olyan megoldásokat kell keresnünk, amelyek mindkét irányú szélsőségre segítenek alkalmazkodni.

Az elmúlt hetekben megtapasztalt, rekordokat döntő alacsony folyóbeli vízszintek kialakulása mögött legalább két, egymást erősítő folyamat áll. Egyfelől az ember okozta jelenlegi klímaváltozás, a felmelegedő éghajlat átalakítja a csapadék tér- és időbeli eloszlását, aminek eredményeként a jövőben egyre gyakoribbá válhatnak a szélsőséges meteorológiai és hidrológiai események, mind a

kisvizek, mind az árvizek tekintetében. Másfelől a hazai folyók jelentős részén évtizedek óta tart a medermélyülés, ami maga után vonja a kisvízi szintek csökkenését is. A Duna magyarországi szakaszán az elmúlt 60 évben átlagosan közel 2 méterrel süllyedt a meder, egyes helyeken még ennél is nagyobb mértékben, míg a Tiszán és a Dráván az elmúlt évszázadban átlagosan mintegy 1,5 méterrel csökkentek a szintek.

A medermélyülés okai az egyes folyókon részben ugyanazok, részben eltérők. Minden nagyobb folyónkra igaz, hogy jelentős folyószabályozási beavatkozásokat hajtottak végre az előző évszázadban hajózásfejlesztés, jég- és árvízlevezetés javítása céljából a főmedrek stabilizálásával, szűkítésével, mellékágak lezárásával és a nagyvízi medrek töltések közé szorításával. A Duna és Dráva esetében ezt a folyamatot jelentős ipari kotrások és a felvízi országokban megépített vízlépcsők hordalékviszartartó hatása fokozta, míg a Tiszán a nagyszámú kanyarulatátvágás okozott hosszesés-növekedést, aminek eredményeként megemelkedett a medereróziós képesség. Jelzésértékű, hogy korábbi vizsgálataink szerint a Duna vízrendszerében vándorló hordalék mennyisége drasztikusan lecsökkent, a hordalékegyensúly felborult (1. ábra).



1. ábra. A Duna folyórendszerében vándorló lebegtetett hordalék éves átlagos mennyisége megatonnában, a vízlépcsők építése előtti (bal) és a jelenlegi (jobb) időszakban. (DanubeSediment projekt)

Megjegyzés: a nyilak vastagsága a hordalékhozammal arányos

Figure 1. Average annual amount of suspended sediment migrating in the Danube river system in megatons, before the construction of the water ladders (left) and in the current period (right). (DanubeSediment projekt)

Note: the thickness of the arrows is proportional to the sediment yield

Az 1. ábrán jól érzékelhető a hordalékháztartás felbomlása, a hordalék mennyiségének drasztikus csökkenése (DanubeSediment projekt).

Az éghajlatváltozás és a mederváltozások hatásai a folyók vízhozamában, vízállásaiban és víz hőmérsékleteiben együtt jelentkeznek, és kedvezőtlen együttállások során vezethetnek olyan műszaki problémákhoz, mint a Paksi Atomerőmű vízűtésének drasztikus visszaesése, és emiatt a teljesítmény kötelező visszavétele olyan időszakban, amikor a hőség miatt az ország áramigénye ráadásul nagyon nagy.

Fontos figyelni arra is, hogy a mostani „extrémum” a múlt irányában az; a majdani jövő felől nézve nem feltétlenül. Az okok, melyek az ilyen helyzetek valószínűségét növelik:

- a felmelegedés,
- a növekvő párolgás,
- a hosszabb száraz időszakok immár a Duna felső vízgyűjtőjén is,
- a nagyobb időjárási változékonyság,
- és a fent jelzett emberi beavatkozások.

Nem lesz minden év ilyen, de a most extrémnek látszó helyzetek gyakorisága növekedni fog, ezért ezzel stratégiai és tervezési szinten is számolni kell.

Az extrém kisvizek következményei túlmutatnak a folyóbeli problémákon. Csökkenhet az ivóvízbázisok biztonsága, romolhat a felszín alatti vízkészletek utánpótlása, nőhet a mezőgazdaság vízhiánya, korlátozódhatnak az ipari vízhasználatok, valamint nehézségek jelentkezhetnek a hajózásban. Emellett a mellékágak és ártéri élőhelyek kiszáradása hosszú távon az ökológiai rendszerek állapotát is veszélyezteti.

AKTUÁLIS KUTATÁSI IRÁNYOK

Az újabb, a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéken elvégzett kutatások (DanubeSediment Interreg projekt, Danube4all és iNNO SED Horizon Europe projektek) egyik legfontosabb tanulsága, hogy nincs minden helyzetre alkalmazható, univerzális megoldás. A vízviszatar-tás, a természet alapú beavatkozások, a hordalékgazdálkodás fejlesztése vagy akár új műszaki létesítmények egyaránt szerepet kaphatnak, de alkalmazhatóságukat mindig az adott vízfolyás hidrológiai, geomorfológiai és ökológiai sajátosságai, élőhely-hidraulikai, valamint a társadalmi és gazdasági igények együttes figyelembevételével kell értékelni. A korszerű vízgazdálkodás alapja ezért nem egyetlen technológiai megoldás, hanem a tudományosan megalapozott, integrált döntéshozatal.

Az említett projektek innovatív monitoring-, modellezési és döntéstámogató módszereket fejlesztenek a folyók hordalékgazdálkodásának javítására. A projektek részeként a Duna

medermélyülésének mérséklését célzó természetalapú folyó-rehabilitációs beavatkozások hatását is vizsgálják (2. ábra), ezzel párhuzamosan a táji és folyóvízi vízviszatarthatás

lehetőségeit, a párolgás szerepét (*NKFIH MULTI-WATER projekt*), valamint a klímaváltozáshoz alkalmazkodó vízgazdálkodási stratégiák tudományos megalapozását is elvégzik.



2. ábra. A Duna városszabadi szakaszán kialakult medermélyülés mérséklése (*iNNO SED projekt*)
Figure 2. Mitigation of the riverbed depression in the Városszabadi section of the Danube (*iNNO SED projekt*)

A 2. ábra mutatja, hogy a Duna Városszabadi szakaszán kialakult medermélyülést a partról a folyó legmélyebb részeire visszatermelt kavicszal és a sarkantyúk hosszának csökkentésével mérsékeljük, miközben a part mentén kialakított lefolyási sávban a hosszirányú ökológiai átjárhatóságot javítjuk (*iNNO SED projekt*).

Természetesen a folyókon túl a kutatásoknak ki kell terjedniük nagy tavainkra és egyéb stratégiai vízhasználatokra is. Futó és közelmúltban befejezett kutatások – közöttük az MTA által gondozott Nemzeti Víz tudományi Program és Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program, továbbá a Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Laboratórium programjai – foglalkoznak többek között a Balaton jövőbeli vízkészletének alakulásával, a budapesti parti szűrőű ivóvízbázisok sérülékenységével, valamint azzal, hogy a Duna szélsőséges vízjárása milyen hatással lehet az energetikai és más kritikus infrastruktúrák működésére, tehát pontosan azzal a témával, amely az elmúlt napokban jelentős társadalmi figyelmet kapott.

Meggyőződésünk, hogy a klímaváltozás következtében várhatóan egyre gyakoribbá váló hidrológiai szélsőségek kezelése hosszú távon csak megbízható mérésekre, korszerű adatfeldolgozásra, új modellezési eljárásokra és több tudományág eredményeit integráló kutatásokra épülhet. A vízgazdálkodás jövőjének egyik legfontosabb feladata olyan tudományosan megalapozott döntéstámogató módszerek kidolgozása, amelyek egyszerre képesek figyelembe venni a társadalmi, gazdasági és ökológiai szempontokat, és hozzájárulnak a klímaváltozáshoz alkalmazkodó vízgazdálkodási rendszerek kialakításához.

EGYSZERŰ MAGYARÁZATOK HELYETT RENDSZERSZEMLELET

Az extrém kisvizek és következményeik miatt felerősödő, kiemelt társadalmi érdeklődés kapcsán rendszeresen felmerülnek leegyszerűsítő magyarázatok és megoldási javaslatok. Az egyik leggyakoribb állítás szerint a vízlépcsők „megállítják” a folyók vizét, és emiatt felelősek a folyók alsóbb szakaszain tapasztalható vízhiányért. A valóság ennél összetettebb. Egy vízlépcső nem szünteti meg a vízhozamot, és nem képes a vízgyűjtőn lehulló csapadék mennyiségét növelni. Alapvető szerepe a folyó vízszintjének és vízjárásának szabályozása, valamint a rendelkezésre álló vízkészletek időbeli és térbeli eloszlásának módosítása. A Duna felső szakaszán található vízlépcsők azonban egy ilyen kisvizes helyzetben ezeket a képességeiket „lefelé”, Magyarország irányába csak nagyon korlátozottan képesek kifejteni. A vízlépcső néhány órnyi átfolyó víz medertározása mellett gyakorlatilag a bejövő vízhozamot továbbítja alvízi irányba.

Hasonló félreértés, hogy a vízlépcsők önmagukban „vizet csinálnának”. Egy műszaki létesítmény természetesen nem képes többletvizet előállítani, ugyanakkor bizonyos körülmények között lehetővé teheti a meglévő vízkészletek hatékonyabb hasznosítását. A duzzasztott folyószakaszokon, tehát a duzzasztó felett javulhatnak a vízkivételek feltételei, stabilabbá válhat a hajózási vízmélység, és egyes esetekben kedvezően befolyásolhatók a felszín alatti vízzel való kapcsolatok is. Ugyanakkor ezeknek a beavatkozásoknak lehetnek kedvezőtlen hidrológiai, hordalékgazdálkodási és ökológiai következményei is, amelyek jellemzően az alvízi irányban jelentkeznek, ezért

alkalmazásukat mindig az adott folyószakasz sajátosságai alapján kell értékelni.

A vízgazdálkodási döntések során ezért nem az a kérdés, hogy egy adott eszköz – például egy vízlépcső vagy egy természetalapú vízviasszatartási megoldás – önmagában „jó” vagy „rossz”. A megfelelő kérdés az, hogy milyen problémára, milyen térségben és milyen cél érdekében alkalmazzuk. Egy árvízvédelmi feladat, egy mezőgazdasági vízhiány, egy ökológiai rehabilitáció vagy egy hajózási probléma eltérő beavatkozásokat igényelhet. A jövő

vízgazdálkodása ezért várhatóan nem egyetlen nagy megoldásra épül majd. A folyók természetes működésének helyreállítása, a vízviasszatartás növelése, a tájhasználat átalakítása, a hordalékgazdálkodás fejlesztése, a meglévő műszaki létesítmények korszerűsítése vagy akár új vízügyi infrastruktúrák alkalmazása egymást kiegészítő eszközök lehetnek. A kihívás éppen annak meghatározása, hogy az adott vízrendszerben melyik eszköz vagy eszközkombináció képes a társadalmi, gazdasági és környezeti célokat a legjobban összehangolni.



1. kép. A Tisza Tivadarnál, 2026. július 25-én (Fotó: Nagy Attila Károly / MTA)
Photo 1. Tisza at Tivadar (Hungary), July 25, 2026 (Photo: Attila Károly Nagy / MTA)

Amikor az egyre szélsőségesebben (azaz ritkábban, de nagyobb vízmennyiségű eseményekben) érkező csapadéokra készülünk, az első gondolata mindenkinek a víztározás kérdése. Amikor akár 1-3 hónapnyi csapadékmennyiség tározása merül fel igényként, az olyan hatalmas térfogatot jelentene, amely a dunai vízrendszerben gyakorlatilag nem megoldható, míg a tisztaiban az eddigi megoldásokhoz képest más irányba is tereli a felszíni tározás lehetőségét. Magyarország legnagyobb víztárolója a talaj: az a pórustérfogat, amely a talajvízszint immár több évtizedes süllyedése miatt mostanra szárazra került, és amelynek térfogata országosan 14 köbkilométerre tehető. A jövőben, ahol lehetőség van rá, a vízviasszatartás elsődleges helyének tekintjük a talajt, azt is szem előtt tartva, hogy a felszíni tározásnak, a folyók lassításának és szélesítésének, az oldaltározóknak és az alföldi mély fekvésű területekre történő vízkivezetésnek is fontos szerepe lehet.

A klímaváltozás korában a vízgazdálkodás egyik legfontosabb feladata tehát nem egy univerzális recept megtalálása, hanem a döntések tudományos megalapozása. A

változó éghajlati és hidrológiai viszonyok között csak olyan alkalmazkodási stratégia lehet eredményes, amely egyszerre veszi figyelembe a vízkészletek változását, a folyók természetes és szabályozott működését, valamint a társadalom növekvő vízigényeit. A jövő vízgazdálkodása nem a természet és a műszaki beavatkozások közötti választásról szól, hanem ezek megfelelő arányú és tudományosan megalapozott összehangolásáról.

IRODALOMJEGYZÉK

DanubeSediment Interreg projekt - <https://interreg-danube.eu/projects/danubesediment-q2>

Danube4all - Restoration of the Danube River Basin for ecosystems and people from mountains to coast. <https://www.danube4allproject.eu/>

iNNO SED projekt - <https://innosed.eu/>

NKFIH MULTI-WATER projekt – <https://nkfi.gov.hu/hivatalrol/online-sajto/aszaly-rekordalacsony>

SZERZŐK

JÓZSA JÁNOS, okleveles építőmérnök, professzor, BME rektor emeritus, az MTA rendes tagja, az MTA Műszaki Tudományok Osztályának elnöke. Kutatási területe a sekély felszíni vizek hidrodinamikája: határfelületi folyamatok, szél keltette tavi víz- és üledékmozgás mérése és numerikus modellezése, hullámteres vízfolyások áramlása, elkeveredési és hordalékvándorlási folyamatainak mérése és modellezése, ártéri elöntések modellezése. A Hidrológiai Közlöny szerkesztőbizottságának tagja.



BARANYA SÁNDOR, építőmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte 2003-ban, PhD fokozatát ugyanitt 2010-ben. Jelenleg a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének vezetője és egyetemi docense. Kutatási területe folyók medermorfológiai, áramlástan és hordalékvándorlási vizsgálata terepi eljárásokkal és számítógépes modellezéssel. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2003 óta tagja, valamint részt vesz a Hidrológiai Közlöny Szerkesztőbizottságának a munkájában is.



TIMÁR GÁBOR, az MTA doktora, az ELTE TTK Geofizikai és Űrtudományi Tanszékének tanszék-vezető egyetemi tanára, más geofizikai és geodéziai problémák mellett a folyók mederdinamikájával és a táji vízgazdálkodás stratégiai kérdéseivel is foglalkozik.



Rendkívüli kisvizek a Felső-Tisza-vidéken (Fotó: Ambrusz László FETIVIZIG)

Táji vízigény/készlet és a meglévő vízgazdálkodási infrastruktúra viszonya és konfliktusai

Kozák Péter^{1,2}, Szalma Elemér^{3,4}

¹ Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi igazgatóság, igazgató (e-mail: kozakp@ativizg.hu)

² Nemzeti Községi Egyetem Víztechnológiai Kar egyetemi docens

³ Szalma Bt, ügyvezető igazgató (e-mail: szalma56@gmail.com)

⁴ SZTE Hidrológiai Kutatócsoport, ny. főiskolai docens

DOI:10.59258/hk.24793



Kivonat

Az elmúlt évek vízhiányos időszaka folyamatosan a kialakult helyzet azonnali megoldását, lokális, helyi intézkedések végrehajtását követelte meg a vízgazdálkodás valamennyi szereplője részére. Az igények kiszámítható, a vízkészletek lehető leghatékonyabb hasznosításához a vízgyűjtő szintű vízigények meghatározására és azoknak a vízkészlet-gazdálkodás folyamataiba történő beépítésére lenne szükség. Jelen dolgozat keretein belül a jelenleg is széleskörűen alkalmazott területhasználati adatbázisok erre vonatkozó attribútumokkal történő kiegészítése kerül ismertetésre. Ezen megoldással minimális előkészítést követően a gyakorlat által azonnal alkalmazható keretrendszer válik használhatóvá.

Kulcsszavak

Vízigény, vízkészlet-gazdálkodás, pontszerű vízkészlet-gazdálkodás, területi vízkészlet-gazdálkodás.

The relationship and conflicts between landscape water demand/supply and existing water management infrastructure

Abstract

The recent water shortage period has repeatedly required an immediate solution and the implementation of local measures by all actors in water management. To calculate needs and use water resources as efficiently as possible, it would be necessary to determine water requirements at the watershed level and incorporate them into water resource management processes. Within the framework of this paper, the currently widely used land use databases are supplemented with relevant attributes. With this solution, a framework that can be applied immediately in practice becomes usable with minimal preparation.

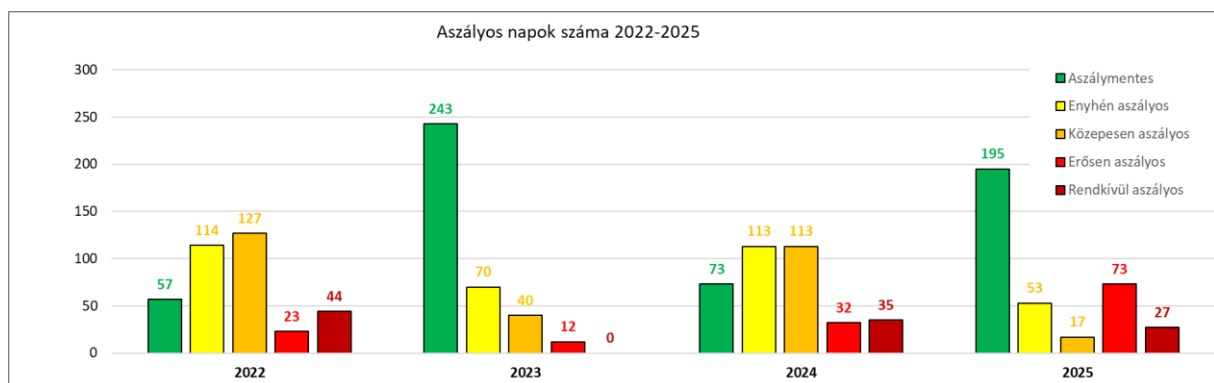
Keywords

Water demand, water resource management, point-based water resource management, spatial water resource management.

BEVEZETÉS

Az elmúlt években az éghajlatváltozás következtében kialakult hidrológiai viszonyok miatt nagy területekre kiterjedően a vízhiányok léptek fel. A korábbi évtize-

dekkel szemben ezen állapotok nem korlátozódtak néhány hónapra, hanem hosszabb időszakokra, akár éveken túlnyúló periódusokra is meghatározókká váltak (1. ábra).



1. ábra. Aszályos időszakok folyamatos előfordulása a Dél-Alföldön (ATIVIZIG)
Figure 1. Continuous occurrence of drought periods in the Southern Great Plain (Hungary) (ATIVIZIG)

A vízhiányok ilyen mértékű megjelenésével kapcsolatban meg kell említeni a vízhiány, mint éveken átnyúló hatásokkal rendelkező hidrológiai jelenség fontosságát. Széles körű szakirodalmi vizsgálatában kiemelkedő *Spinoni* (2014) munkája, mert nagyléptékű összefoglalást nyújt az aszályok

gyakoriságáról, hosszáról, illetve azok értelmezését globális statisztikai háttérbe helyezi. *Cook és társai* (é.n.) munkájukban a „megaaszály” fogalmi meghatározását adják a történeti aspektusok felhasználásával (*Cook és társai é.n.*). *De Jager és társai* (2022) munkájukban a hosszú távú aszály-

hajtó tényezők változását tárgyalják. *Cammalleri (2020)* munkájában az Európában tapasztalt aszályok kialakulását elemzi a léghőmérséklet növekedésével összefüggésben.

Tekintettel arra, hogy napjainkban az előzőekben röviden hivatkozott szakirodalmi megfogalmazású jelenség már a mindennapjaink része – annak hatásait több hónapig, sőt éveken át érezzük – meg kell vizsgálni, hogy a vízgazdálkodás/vízkezelés-gazdálkodás folyamataiban milyen új elemek figyelembevétele, esetleg mely korábbi elem újra-definiálása segítheti a hatékonyság fokozását.

A VÍZIGÉNY SZEREPE A VÍZGYŰJTŐ VÍZKEZLET-GAZDÁLKODÁS RENDSZERÉBEN

A vízgyűjtő vízkészlet-gazdálkodási rendszerének egyensúlya a vízkészletek és a vízigények viszonylatában alakul ki. Jelen közlemény keretében csak a vízigények területi meghatározásának kérdéskörével van lehetőség foglalkozni, azonban a vízkészletek területi előfordulásának és változásának vizsgálata is nagyon fontos.

Ahhoz, hogy a vízkészlet-gazdálkodási döntések a lehető leghatékonyabbak legyenek, a rendelkezésre álló vízkészletek és az azokra alapozott igények ismerete szükséges. A területi vízigények hazai, gyakorlatban – operatív döntéshozatali eljárásokban – történő alkalmazása ezidáig nem történt meg. Ennek az oka talán az, hogy leginkább a szakirodalomban fellelhető metodikák nehézkesen voltak átvihetők az aktuális vízgazdálkodási döntéshozatali eljárásokba.

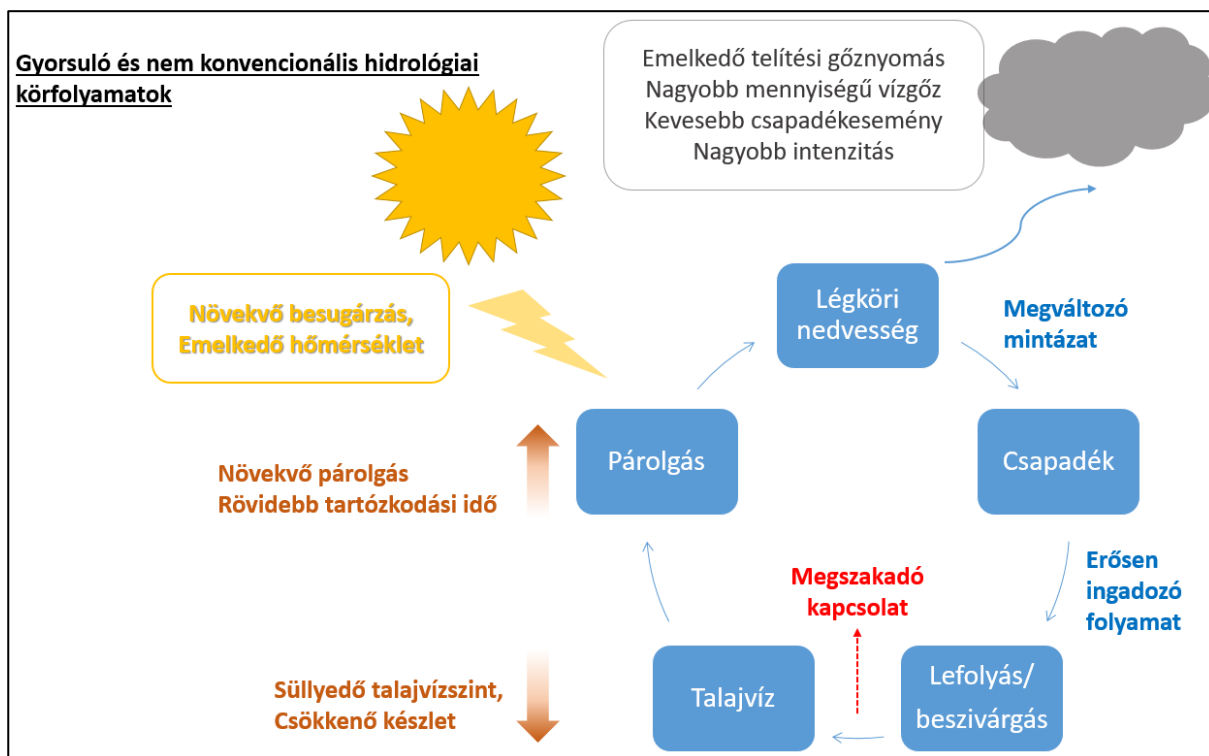
A szakirodalmi előzmények közül meghatározó *Dévai és társai (1998)* munkája, mivel a környezeti/ökológiai vízigények meghatározásának operatív módszertanát dolgozták ki, és konkrét számítási kereteket határoztak meg. A nemzetközi szakirodalomból ki kell emelni a Brisbane-i Deklarációt, amely az „*environmental flow*” (környezeti vízigények) fogalmát a vízhozam-mennyisége, időzítése és a vízminőség összességének tekinti, amely szükséges a vízi ökoszisztémák és az azokra épülő emberi jólét fenntartásához. A vízgyűjtő szintű vízigényszámítások ezen a nézőpontra alapulnak, ahol a környezeti vízigényeket a vízgyűjtő természetes vízjárásához viszonyítva, időben és térben dinamikusan jelenítik meg (*Brisbane Declaration 2007*). *Poff és társai (2010)* munkájukban egy olyan vízgyűjtő/medence-szintű keretrendszert definiálnak, amely a természetes hidrológiai rezsimhez viszonyított, elfogadható vízjárás-változtatások határát határozza meg, figyelembe véve a víztestek tipológiáját és az ökológiai stresszválasz-összefüggéseket. A tanulmány vízgyűjtők szintjén stratifikált víztesttípusokra épülő, hidrológia-alapú módszertant ad, amely a vízgyűjtő-szintű vízigényszámítások (ökológiai vízigény, hasznosítható vízkészlet, környezeti vízigények) nemzetközi vonatkoztatási pontjává vált (*Poff és társai 2010*). *Horne (2017)* munkájában több száz vízgyűjtő-szintű vízigényszámítási módszert (hidrológiai, hidraulikai, élőhely-modellezésen alapuló, valamint a holisztikus BBS és ELOHA-szerű megközelítéseket) rendszerez adatigény, alkalmazhatóság és vízgyűjtőméret szerint. A vízgyűjtők a különböző bonyolultságú megközelítések (hidrológiai alapú egyszerű, holisztikus „from consulate” típusú módszerek) egymásra építésén keresztül hatékonyan kombinálhatók, ami a vízgyűjtő-szintű vízigényszámítások módszertani alapját erősíti (*Horne 2017*).

A szakirodalmi előzmények közül feltétlenül ki kell emelni, komplexitása és időbelisége kapcsán *Chappon és társai (2025)* munkáját, melyben javasolják a vízgyűjtő szintű ökológiai vízigények, környezeti vízigények (environmental flows) és a hasznosítható vízkészlet egyidejű, havi bontású meghatározását. A módszertan a vízgyűjtő méretétől függően határozza meg a minimum ökológiai lefolyást és a 80%-os tartósságú természetes vízkészletet; a különbséggént számított hasznosítható vízkészletet a társadalmi vízigények felső korlátjaként fogja fel. A környezeti vízigény fogalmával expliciten összekapcsolja az ökológiai és társadalmi vízigények vízgyűjtő szintű vízgazdálkodás körében való konszenzusos összehangolását, valamint azok definícióját adja meg (*Chappon és társai 2025*).

Az előzőekben – kivonatossan – áttekintett szakirodalmi előzmények, vizsgálati metodikák közös jellemzője, hogy a vízállapotok jóságát, a vízkészlet-gazdálkodási helyzetek megfelelőségét a vízfolyások hidrológiai állapotán keresztül képezik le. Ezen megközelítés teljesen egyezik a gyakorlati vízkészlet-gazdálkodási döntési folyamatokkal azon vízgyűjtők esetén, ahol az összegyűlekezés folyamatának eredményeként értelmezhető a vízgyűjtő vízfolyásainak vízhozama, állandó jelleggel.

Azonban az elmúlt években egyre több vízgyűjtő esetében – kiemelten a Dél-Alföldön – a vízfolyások, csatornák időszakos jellege egyre hosszabb időszakokra terjedt ki. A természetes összegyűlekezési folyamatok korábbi dinamikája megváltozott, amelynek következtében a mederbeli lefolyás értéke nulla! Ennek okai rendkívül komplexek, és a vízkörforgás valamennyi elemére jelentős hatást gyakorolnak. A tapasztalatok szerint a korábbi körfolyamatok megszakadtak, és a teljes körforgási ciklus ma már nem tapasztalható a Dél-Alföldön (2. ábra).

A megváltozott hidrológiai körfolyamatok következtében a vízhiány az időszakos vízjárású vízfolyások/csatornák vízgyűjtőit szinte folyamatosan uralja. A vízgazdálkodási döntéshozatali eljárásokban a vízfolyások/csatornákra meghatározott vízigény helyett már az – elméleti – összegyűlekezési helyen sem áll rendelkezésre kellő mértékben, vagy egyáltalán nem a vízkészlet; sok helyen ezen igények pótlását külön vízpótló beavatkozásokkal kell biztosítani. A vízigények közül jelenleg a mezőgazdasági művelés alatt álló területekre vonatkozólag kerültek meghatározásra a vízigények – térben és időben – míg a vízgyűjtő többi területére nem áll rendelkezésre ilyen jellegű adat. Ennek hiányában a vízkészlet-gazdálkodási döntések „igény” oldala távolról sem teljes, abban csak a mezőgazdasághoz kapcsolódó igények szerepelnek, míg a vízgyűjtő egyéb területei egyáltalán nem. Fontos azt megjegyezni, hogy a jelenleg hatályos vízügyi jogszabályok csak a vízbő/belvizes időszakokra vonatkozóan határoznak meg területi levezetési adatokat, a vízhiány elleni védelemmel kapcsolatosan – ami több éve uralja a hazai vízgazdálkodási feladatrendszert – ezidáig nem készült ilyen jellegű, nagy területre kiterjedő vizsgálat. A további vizsgálatok célja, hogy olyan vízigény eloszlást lehessen meghatározni, amely összevethető a vízkészletek térbeli eloszlásával és abból objektív helyzetértékelésen alapuló vízkészlet-gazdálkodási döntéseket lehessen hozni.



2. ábra A megváltozott hidrológiai körfolyamatok (Fiala K. szerkesztése)
Figure 2. The changed hydrological cycles (edited by K. Fiala)

A TÁJI VÍZIGÉNY MEGHATÁROZÁSÁNAK VIZSGÁLT MÓDJA

A szakirodalmi előzményekhez képest egy olyan metodika kidolgozása volt a cél, amellyel a vízgyűjtő konkrét helyén fellépő vízigény határozható meg, ami szükség szerint tovább deriválható kisebb időbeli egységekre. A kitűzött cél megvalósítása érdekében alapvető volt, hogy a vízgyűjtő teljes területére vonatkozóan meghatározható legyen egy vízkészlet-gazdálkodási döntéstámogatói rendszer. A jelenlegi vízügyi gyakorlatban csak a mezőgazdasági vízhasználatok vízigényei állnak rendelkezésre térbeli és időbeli részletezettséggel, így az ezek meghatározásához használt gyakorlat alkalmazása került előtérbe.

A metodika által használt táji vízigény a vízgyűjtőn meglévő valamennyi vízigény integrálását jelenti. Ezen megközelítésben a vízgyűjtő és a táj azonos földrajzi egységet jelent. A gyakorlatban jellemzően a felszíni vízgyűjtőhatárokkal jellemzett felszíni vízgyűjtőket vesszük alapul, mely alapján a vízgyűjtőre meghatározott vízigény táji vízigénynek került elnevezésre. A vízigények közül a vízjogilag engedélyezett vízigények térben és időben jól definiáltak. A cél a többi terület-használati kategóriához figyelembe veendő vízigény meghatározása volt, melyhez ki kellett választani azt a terület-használati kategóriákat tartalmazó adatbázist, amelynek kategóriái országos szintű lefedettséggel rendelkeznek. A meghatározott táji vízigény a meglévő – vízjogilag engedélyezett és engedélyezési eljárásba be nem vont – igényeket jelenti.

A terület-használati adatbázisok áttekintése

A feladat kidolgozásával kapcsolatban evidencia volt, hogy a vízigényeket a meglévő terület-használati kategóriákhoz lenne ideális kapcsolni, hiszen erre vonatkozóan szabadon hozzáférhető, Magyarország egé-

szére kiterjedő adatbázisok állnak rendelkezésre. A hozzáférhető adatbázisok közül olyan kiválasztásra volt szükség, amely az ország egészét lefedi – lehetőleg – illeszkedik az európai terület-használati terminológiákhoz, és – lehetőleg – szabadon hozzáférhető. A hozzáférhető terület-használati adatbázisok jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

A kiválasztott adatbázis rövid jellemzése

Az elemzésbe vont adatbázisok közül a CORINE adatbázisra esett a választás.

A CORINE (Coordination of Information on the Environment) a Környezeti Információs Rendszer egyik legfontosabb alkotórésze, melynek fő üzemeltetője az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA, Koppenhága). A CLC-adatbázis a Copernicus Földfelszín-monitorozási program része. A CLC elsődlegesen felszínborítást térképez (erdő, füves, beépített, mezőgazdasági, vízfelület stb.), de a részletesebb, harmadik szintű kategóriák már terület-használat-jellegűek (pl. öntözetlen szántó, gyepek, városi zöldterület).

Az európai szintű CLC-rétegek 1:100 000-es méretarányban, kb. 25–100 m-es effektív felbontással készülnek. Magyarországon rendelkezésre áll a nemzeti nagyfelbontású CLC50 is (kb. 1:50 000, 50–100 m szintű).

A CLC-adatbázis több referenciaévre készül el: 1990, 2000, 2006, 2012, 2018, 2024. Ezek a rétegek Magyarországra is elérhetők, időbeli folytonossággal.

A Lechner Tudásközpont és a geoshop.hu oldalakon a CORINE-adatok magyarországi, EOY-vetületben (Hungarian EOY) is elérhetők.

I. táblázat. Vizsgálatba vont területhasználati adatbázisok
Table 1. Land use databases examined

Adatforrás	Típus	Területi lefedettség	Időbeli jellemzés
KSH – területi statisztikai adatok (TIMEA, helység-névtár, STADAT)	Statisztikai adatbázis (település-, megyeszint; nem pixel-szintű területhasználat, de területi egységekhez kapcsolódik)	Országos, megye, járás, település, kistérség	Országos idősorok
TakarNet (Földhivatal, földhasználati lap, térkép)	Parcella-szintű, jogi földhasználati és művelési ág adatok	Magyarország egész területe, földhivatali körzeti lefedettség	Folyamatosan frissül (tulajdon- és földhasználati változások)
Copernicus – CORINE Land Cover (CLC) és High Resolution Layers (HRL)	Felszínborítási térkép (land cover, főleg felszínfoglalás, erdő, mezőgazdasági terület, víz)	Magyarország + teljes Európa	5–10 éves idősor (pl. 2000, 2006, 2012, 2018, 2024)
Magyarország mezőgazdasági területeinek talajtulajdonság-térképei (JRC-AIIR-MARTHA-LUCAS)	Mezőgazdasági területek és talajtulajdonságok térképe (rácsháló, 250 m)	Mezőgazdasági területek, országos lefedettség	A 2000-es évek közepétől napjainkig
GeoX – 100×100 geo-demográfiai térkép	Geo-demográfiai, 100×100 m-es rácsterületi adatbázis	246 nagyobb magyar város és Budapest vonzáskörzete	2021–2022-es referencia-időszak

A területhasználati kategóriákhoz rendelt vízigények meghatározása

Az alkalmazott területhasználati kategóriákhoz kapcsolt vízigények meghatározásának főbb megfontolásai az alábbiak voltak: a vizsgálat elsődleges célja az volt, hogy olyan vízigény-eloszlást lehessen meghatározni, amely összevethető a vízkészletek térbeli eloszlásával, és abból objektív helyzetértékelésen alapuló vízkészlet-gazdálkodási döntéseket lehessen hozni. A CORINE mint modell, az általa adott térképes adatok (területhasználatok) alapján történt táji vízigény szakértői becslései jó alapját képezhetik a szükséges döntések előkészítésének.

Ennek megfelelően:

1. Első lépésként meghatározásra kerültek az adott területek CORINE CLC50 vagy CCL100 fedvényeinek földhasználati kategóriánkénti hektáronkénti értékei,
2. Ezt követően a lehatárolt hektáronkénti kategóriák súlyozásra kerültek a területek becsült (mm/ha_év) (m³/ha_év) vízigényével. Ezek alapján az alábbi területi vízigények kerültek meghatározásra (2. táblázat). A táblázat szakirodalmi hivatkozásokon alapuló szakértői becslés alapján meghatározott értékeket tartalmaz, melyek konkrét vizsgálatok alapján módosíthatók.
3. Ennek eredményeként vízigényük alapján számszerűen értékelhetővé és összehasonlíthatóvá válnak a különböző területek/tájak.
4. A kiválasztott referenciahelyek/tájak vízigény szempontjából a fentiek alapján ellenőrizhetők és akár újragondolhatók.

JAVASLAT A TÁJI VÍZIGÉNY HASZNÁLATÁRA A DÖNTÉSHOZATALI ELJÁRÁSOK MEGALAPOZÁSA SORÁN

A vízpótlási jellegű tevékenységek jellemzően a vízigényekhez kapcsolódó vízjogi engedélyekben rögzített feltételek szerint történtek, a jogszabályokban

meghatározott prioritási sorrend alapján. Az 1995. évi LVII. törvény 28/A. §-a következő, jogosultsági sorrendet határozza meg a vízigények kielégítésére:

- Létfenntartás, ivóvíz, közegészségügy, katasztrófa-elhárítás,
- Gyógyászati, gyógyüdülési, ásvány- / gyógyvíz-használat,
- Korábban engedélyezett, jogosultsággal rendelkező vízhasználatok (időrendi bejegyzés szerint),
- Ökológiai és környezeti vízigények (vizek „jó állapota”),
- Későbbi, alacsonyabb prioritású gazdasági vízhasználatok (pl. bizonyos ipari, agrár, rekreációs).

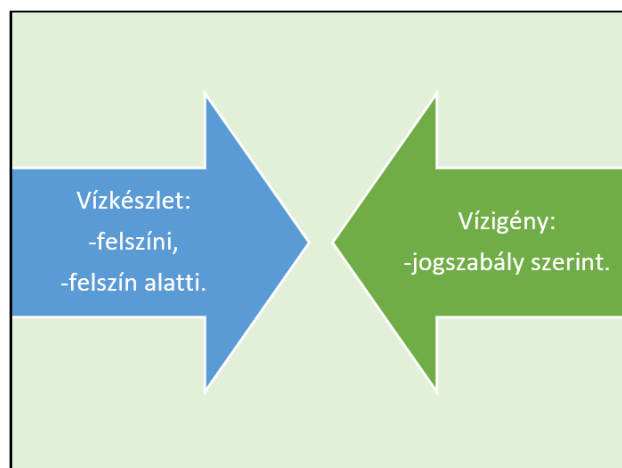
Fontos megállapítás, hogy napjainkban csak a jogilag bejegyzett igények kielégítésével kapcsolatban lehet intézkedéseket tervezni és végrehajtani, kellő anyagi fedezet birtokában. A Magyarországot hátrányosan érintő vízhiányos időszak azonban ráirányította a figyelmet arra, hogy a vízjogi értelemben nem létező, de fizikai valójában jelentős mennyiséget kitevő „táji vízigény” fontos vezérelv a vízgyűjtő vízgazdálkodási körfolyamataiban. Ennek hiányában csak a vízjogi engedélyekben szereplő vízmennyiségek kiszolgálása biztosítható, az ezek között nem szereplő vízigények gyakorlatilag nem jelennek meg a vízgazdálkodás eszközzrendszerével szemben jelentkező elvárásként. Megoldási lehetőségként javasolható a táji vízigény fentiekben ismertetett módszertannal történő meghatározása és az alapján a vízigény akár jogi úton is történő bejegyzése. Természetesen ennek eljárásrendi részleteit pontosítani szükséges (pl. engedélyes személye, stb). Azonban a meghatározott, teljes vízgyűjtőre kiterjesztett vízigény már a vízgyűjtő vízkészlet managementjének egy fontos alappillére lehet. Meg kell jegyezni, hogy jogi eljárások nélkül, operatív döntéshozatali háttérként is alkalmazható az adatbázis térinformatikai eszközökkel kiegészítve.

2. táblázat. A területhasználati kategóriák vízigényei (Szalma E. szerkesztése)
 Table 2. Water requirements of land use categories (edited by E. Szalma)

CORINE	mm/év	m ³ /év
Összefüggő település szerkezet	35	350
Nem-összefüggő település szerkezet	75	750
Ipari vagy kereskedelmi területek	15	150
Út- és vasúthálózat és csatlakozó területek	70	700
Kikötők	125	1 250
Repülőterek	5	5
Nyersanyag kitermelés	5	50
Irákóhelyek, meddőhányók	5	50
Építési munkahelyek	5	50
Városi zöldterületek	200	2 000
Sport-, szabadidő- és üdülő területek	200	2 000
Nem-öntözött szántóföldek	450	4 500
Állandóan öntözött területek	560	5 600
Rizs földek	150	1 500
Szőlők	250	2 500
Gyümölcsösök, bogyósok	250	2 500
Intenzív legelők és erősen degradált gyepterületek	350	3 500
Egynyári kultúrák állandó kultúrákkal vegyesen	350	3 500
Komplex művelési szerkezet	350	3 500
Elsődlegesen mezőgazdasági területek jelentős természetes növényzettel	400	4 000
Mezőgazdasági erdészeti területek	300	3 000
Lomblevelű erdők	380	3 800
Tülevelű erdők	380	3 800
Vegyes erdők	380	3 800
Vegyes erdők	380	3 800
Természetes gyepek, természetközeli rétek	450	4 500
Átmeneti erdős-cserjés területek	250	2 500
Csupasz sziklák	0	0
Ritkás növényzet	150	1 500
Leégett területek	100	1 000
Szárazföldi mocsarak	450	4 500
Tőzegláp	450	4 500
Folyóvizek, vízi utak	500	5 000
Állóvizek	500	5 000

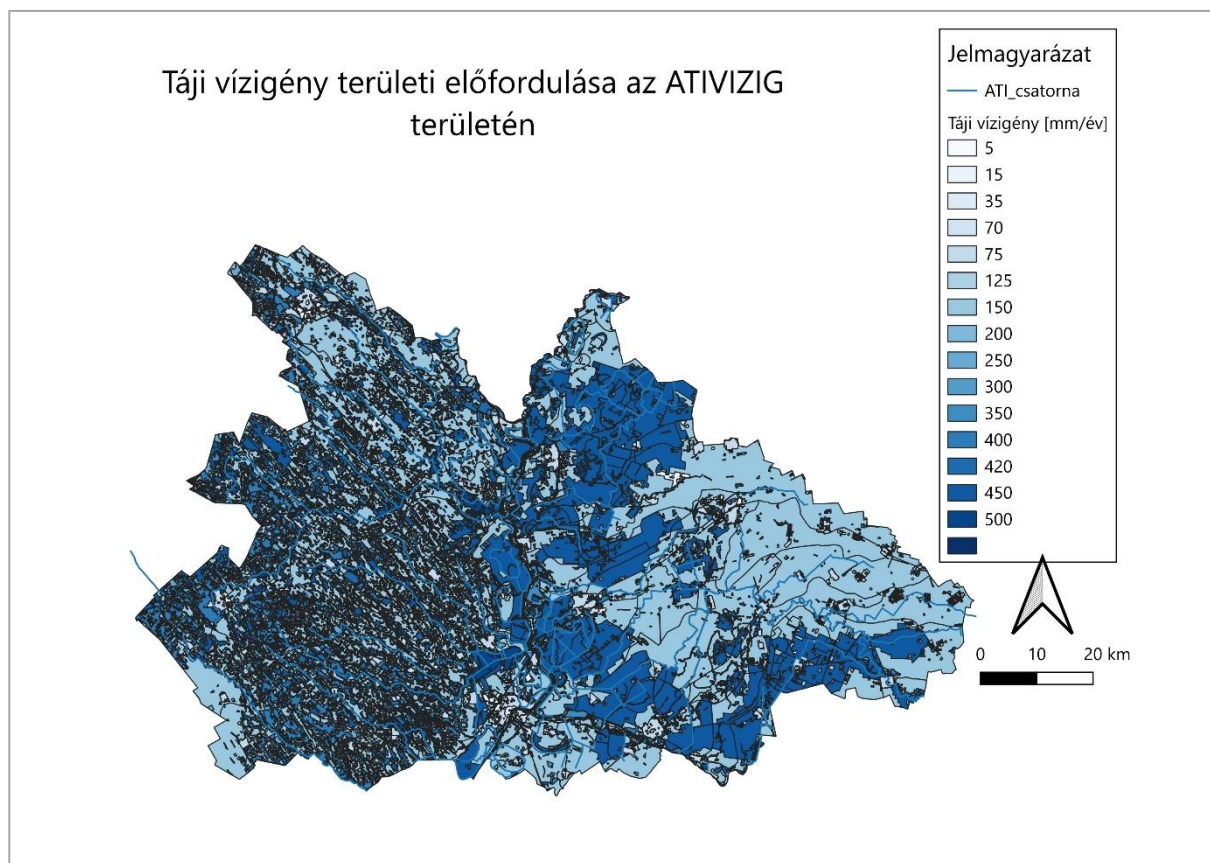
A táji vízigény a vízgyűjtőn meglévő területhasználatokhoz kapcsolódó, de térben megjelenített vízigény, amely

összevetve a vízgyűjtő vízkészletével, valós térbeli helyzetkép alkotható a vízgyűjtő vízállapotáról (3. ábra).



3. ábra. Vízészlet-vízigény kapcsolati rendszer (Kozák P. szerkesztése)
Figure 3. Water supply-demand relationship system (edited by P. Kozák).

A fenti metodika alapján meghatározott táji vízigény területi megoszlását mutatja a 4. ábra.



4. ábra. A táji vízigény területi előfordulása az ATIVIZIG területén (Kozák P. szerkesztése)
Figure 4. Spatial occurrence of landscape water demand in the ATIVIZIG area (edited by P. Kozák)

A metodika alkalmazhatóságának vizsgálatára a területre vonatkoztatott éves csapadékösszeg 30 éves átlaga

került kiválasztásra viszonyítási alapként. Ennek a területre vonatkoztatott értéke 550 mm. Az vizsgálat tapasztalatait a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat. Vízhány mennyiségének meghatározása
Table 3. Determination of the amount of water deficit

Vízhány számításának alapja	Vízhány mennyisége [km ³]
Éves csapadékösszeg sokéves átlag	4,6
Táji vízigény	3,2

A vizsgálat alapján megállapítható, hogy a javasolt metodika alapján egyrészt kisebb vízmennyiségek adódnak, másrészt azok területi megoszlása is vizsgálható.

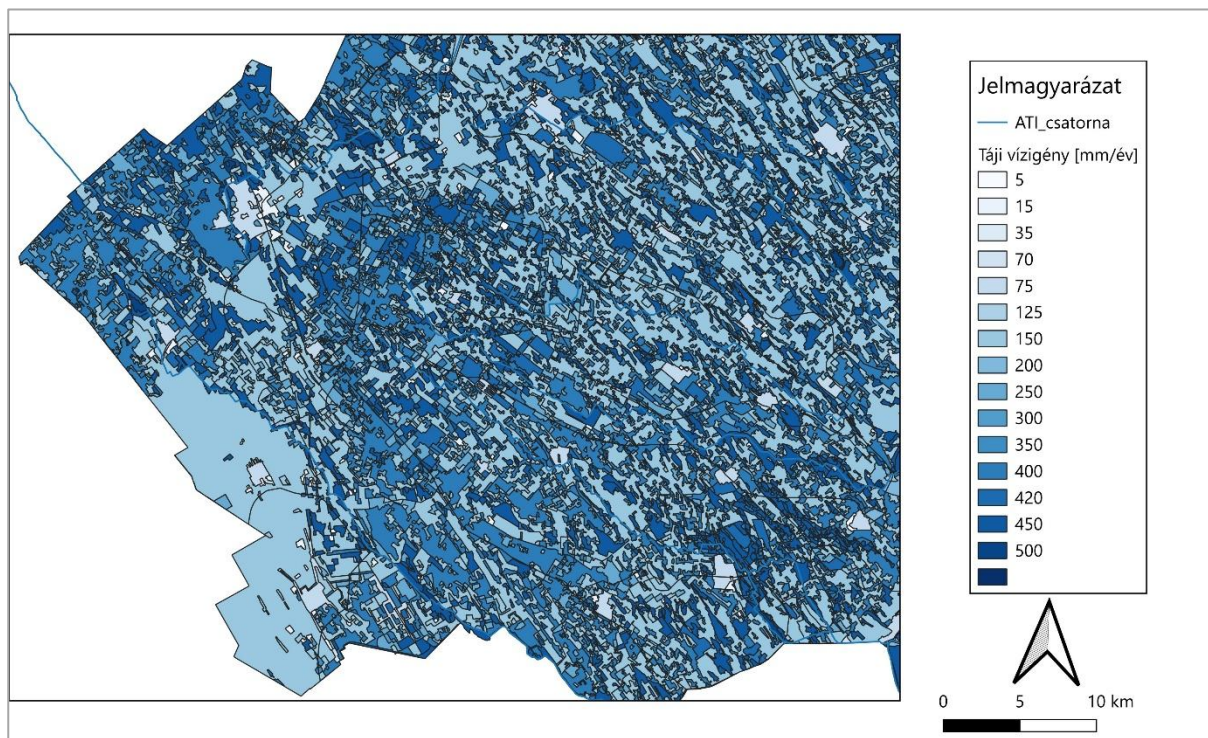
A kidolgozott módszer fontos jellemzője, hogy:

- térben kisebb területi egységekre (részvízgyűjtőkre) (5. ábra) is előállítható, így akár részöblözetek víz-

készlet-gazdálkodási állapotvizsgálatának alapjául szolgálhat,

- időben is felbontható rövidebb időszakokra, hiszen akár havi részletezettségű adatokkal is feltölthető, így akár kritikus időszakokban is alkalmazható,

- amennyiben a területhasználati kategóriákra vonatkozóan helyspecifikus vízigények állnak rendelkezésre, úgy azok egyszerűen beépíthetők a rendszerbe.

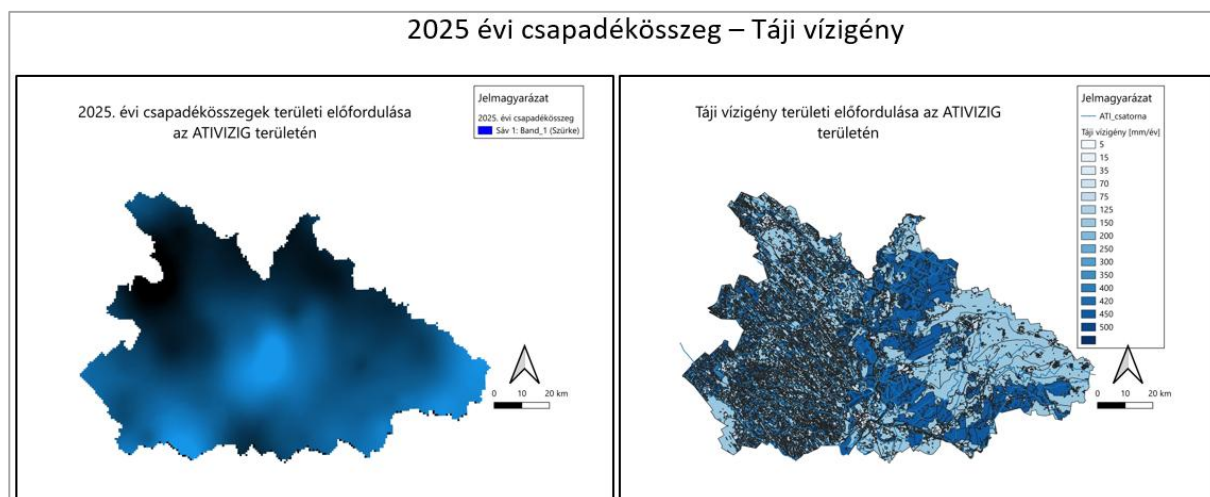


5. ábra. Táji vízigény megoszlása a Duna-Tisza közén (Kozák P. szerkesztése)
Figure 5. Distribution of regional water demand in the Danube-Tisza region (edited by P. Kozák)

A táji vízigény megoszlásának területi térképe összevetve a vízgyűjtő vízkészleteinek területi megoszlását bemutató térképpel valós információkat szolgáltat a vízhiány területi mértékéről, amely alapján a vízpótlást célzó operatív beavatkozások objektív vízkészlet-gazdálkodási háttérrel tervezhetők és valósíthatók meg. Jelen alkalmazási példában a vízkészletek elemei közül a csapadékeloszlások térképének bevonására volt lehetőség. A kidolgozott metodika biztosítja a vízkészletek további elemeit is tartalmazó adatbázisok bevonását. Már a csapadéktérképek alkalmazása biztosítja, hogy a nem kellően megalapozott és

pontszerű döntések helyett a vízgyűjtő egészét érintő helyzetkép alakítható a vízkészlet-gazdálkodási viszonyokról, és objektíven meghatározhatók a rövid távú következmények. Az alkalmazásra főleg a vízpótló rendszerek üzemeltetési döntéseinek megalapozása során nyílnak lehetőségek, de akár a pontszerű vízpótlási igények prioritizálása során is eredményesen alkalmazható.

Alkalmazási példaként az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság működési területére előállított táji vízigény-térképet és a 2025. évi csapadék összegek területi eloszlásának térképét hasonlítottuk össze a 6. ábra szerint.



6. ábra. A 2025. évi csapadékösszeg és a táji vízigény összevetése az ATIVIZIG területén
 Figure 6. Comparison of precipitation totals in 2025 and landscape water demand in the ATIVIZIG area

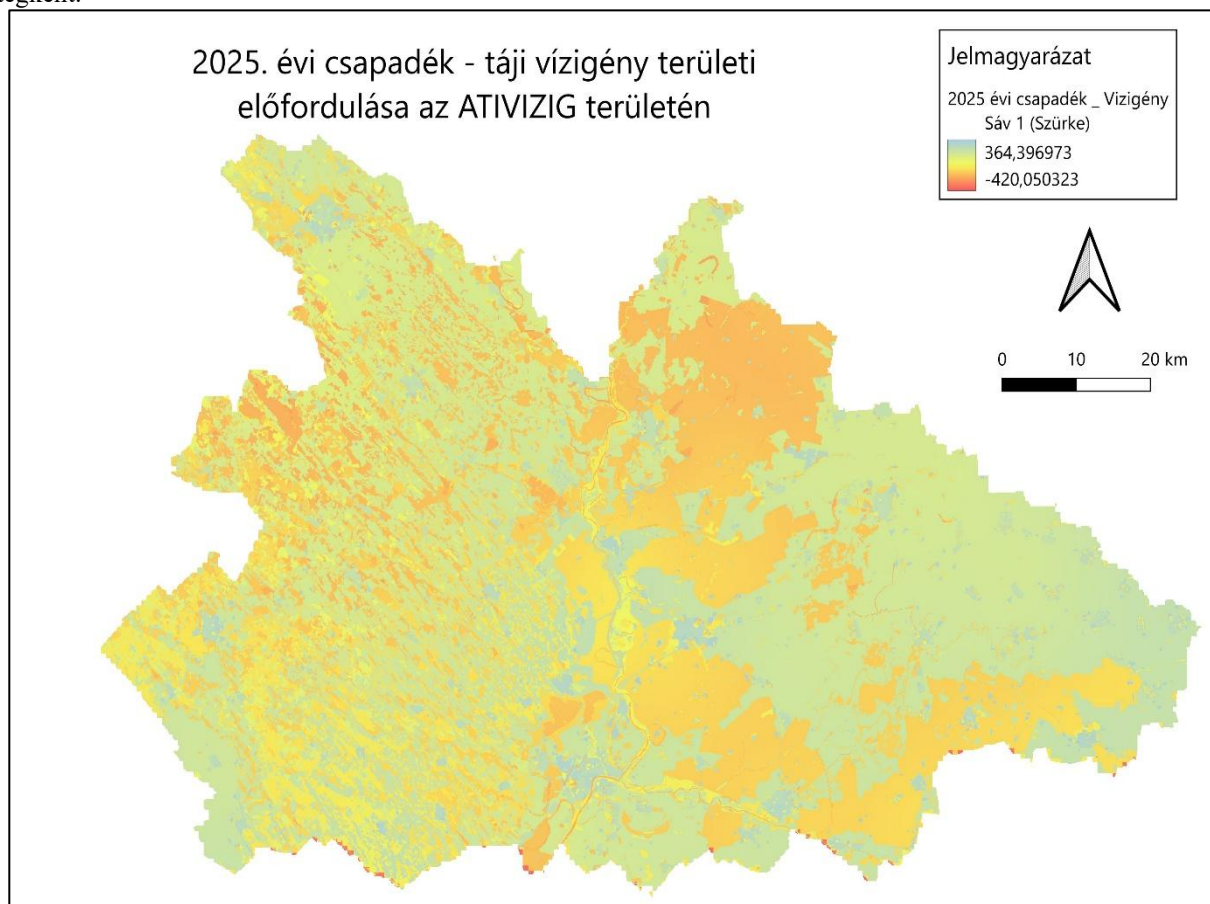
A vizsgálat QGIS program segítségével az alábbi lépésekben került végrehajtásra:

1. Táji vízigény fedvény előállítás.
2. A <https://vizhiany.vizugy.hu/> szabadon hozzáférhető oldalon az ATIVIZIG területére történő csapadék-raszter előállítás 2025.01.01-2025.12.31. közötti időszakra.
3. QGIS programban a csapadékraszter beolvasása réteggént.

4. Táji vízigény vektoros réteg átalakítása raszteres réteggé (Raszterizálás: vektort raszterre).

5. Eredménytérkép előállítása: „Csapadékösszeg raszter” – „Táji vízigény raszter” raszterkalkulátor alkalmazásával.

A műveletek eredményeként előállt az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság működési területének vízkészlet-gazdálkodási térképe (7. ábra):



7. ábra. A vízkészlet-gazdálkodási egyenleg területi megoszlása 2025-ben (Kozák P. szerkesztése)
 Figure 7. Territorial distribution of the water resources management balance in 2025 (edited by P. Kozák)

ÖSSZEFOGLALÁS, AJÁNLÁSOK

Jelen közlemény tárgya a vízkészlet-gazdálkodási döntések objektív háttérének teljesebbé tétele volt. A jelenlegi vízgazdálkodási gyakorlat csak a jogilag engedélyezett és nyilvántartott vízigények kielégítését prioritizálja. Azonban ezen vízigények általában nem fedik le a vízgyűjtők teljes területét, és az ott található területhasználatok által előálló vízigények nem kerülnek beépítésre a döntéshozatali eljárásokba. A dolgozatban részletezett metodikával előállítható a teljes vízgyűjtőre vonatkoztatott vízigény, amely már objektív döntéshozatali eljárások háttéréként is felhasználható. A javaslat lényege, hogy nemcsak a vízjogi engedéllyel rendelkező igényeket vizsgálja, hanem alkalmazásával valamennyi területhasználat vízigénye bevonható a döntéshozatali eljárásokba. A metodika alkalmazásával térben jeleníthető meg a táj vízigénye, amely szükség esetén deriválható éves, évszakos, havi mennyiségekre, amelyeket összevetve a rendelkezésre álló aktuális vízkészletekkel operatív döntéshozatali háttérként is alkalmazható.

Fontos megállapítás, hogy a területhasználati kategóriákhoz kapcsolódó vízigények tetszőlegesen módosíthatók, amennyiben szakirodalmi vagy mintaterületi vizsgálatok ennek indokoltságát mutatják.

A kialakított eljárásrend biztosítja, hogy a vízigények és a vízkészletek alapján történő vizsgálatok térben és időben kisebb részvízgyűjtőkre vagy rövidebb időszakokra is kiterjeszthetők legyenek. Ezen elemzések már az operatív (rövid távú) intézkedések megalapozásához is hasznosak lehetnek. A vízkészlet-gazdálkodási beavatkozások vonatkozásában a meglévő öntöző-/vízpótló rendszerek üzemeltetési hatékonyságának növelése, vagy akár provizórikus beavatkozások tervezése, üzemeltetése során is a hatékonyságot növelő háttérelmézések férhetők hozzá a metodika alkalmazásával.

SZERZŐ



KOZÁK PÉTER okleveles vízépítő mérnök. Tudományos fokozatát belvízgenetikai elemzésekhez kapcsolódóan szerezte meg a Szegedi Tudományegyetem Földtudományi Doktori Iskolájában. Tudományos tevékenysége az ár- és belvízi kockázatok kezelésével és mérséklésével kapcsolatos területi vízgazdálkodásra irányul. 1994-től az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság munkatársa, 2010-től igazgatója. 2007-től az Eötvös József Főiskola docense, illetve 2017-től a Nemzeti Közzolgálati Egyetem Víz tudományi Karának oktatója, 2020-tól egyetemi adjunktusa, 2022-től egyetemi docense.



SZALMA ELEMÉR a Szegedi Tudományegyetem nyugalmazott docense, a Szalma Bt. ügyvezető igazgatója. Biológia-testnevelés és biológia szakos általános és középiskolai tanári diplomákat a Juhász Gyula Tanárképző Főiskolán (Szeged) és a József Attila Tudományegyetemen (Szeged) szerzett. Doktori disszertációját a József Attila Tudományegyetemen védte meg 1986-ban, melynek címe: „A Tisza menti holtágak hínárvegetációjának synökológiai analízise”. A PhD-fokozatot 2004-ben a Debreceni Egyetemen szerezte, értekezésének címe, „Vizinövények életformája és élőhelyeik szerinti csoportosítása”. Kutatási területe: álló és folyóvizek vízi makrofita társulásainak hidrobotanikai vizsgálata. Felszín alatti vizektől függő vizes élőhelyek, szikes tavak és lápok kutatása. Vízi- és mocsári növényfajok élet- és növekedési formáinak ökológiája. Vizinövények funkcionális csoportjainak ökológiai és ökohidrológiai kutatása. Az SZTE Hidroökológiai Kutatócsoport vezetője. A Magyar Biológiai Társaság szegedi csoportjának elnökhelyettese, a CSEMETE Természet és Környezetvédelmi Egyesület alapítója. A Magyar Hidrológiai Társaság Élőhely-védelmi Szakosztályának elnöke és a Társaság tagja 2016 óta.

Irodalomjegyzék

1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról
- Brisbane Declaration (2007). Environmental flows are Essential for Freshwater Ecosystem Health and Human Well-Being
- Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Bis-selink, B., Gelati, E., De Roo, A., Feyen, L. (2020). Diverging hydrological drought traits over Europe with global warming. *Hydrology and Earth System Sciences*. Volume 24, issue 12, pp. 5919–5935. <https://doi.org/10.5194/hess-24-5919-2020>
- Chappon, M., Szalay, M., Szilágyi, F., Bene, K. (2025). Környezeti vízigények meghatározásának operatív módszertana. *Hidrológiai Közöny*, 105. évf. 3. sz., pp. 14-19. <https://doi.org/10.59258/hk.20604>
- Cook, B.I., Seager, R., Heim, R.R. (é. n.). Megadroughts in North America: reconstructing and quantifying the causes of the 20th century droughts.
- de Jager, A.L., Corbane, C., Szabo, F. (2022). Recent Developments in Some Long-Term Drought Drivers. *Climate*, 10. <https://doi.org/10.3390/cli10030031>
- Dévai G., Aradi C., Csabai Z. (1998). Ökológiai víz-. A nemzeti vízgazdálkodási stratégia kidolgozása. MTA, Budapest, kézirat
- Horne, P. (2017). A global synthesis of environmental flow methods.
- Poff, N.L., Richter, D.B., Arthington, H.A., Bunn, E.S. (2010). The Ecological Limits of Hydrologic Alteration framework (ELOHA) in riverscape and basin scale ecological flow assessments. *Freshwater Biology*, 55(1), pp.147-170. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02204.x>
- Spinoni, J. (2014). Drought frequency, duration, and severity for 1951–2010. *International Journal of Climatology*, 34., pp. 2792–2804. <https://doi.org/10.1002/joc.3875>

Vízháztartási sérülékenységi a Kárpát-medencében: a táj vízmegtartó funkciójának hidrológiai jelentősége

Verrasztó Zoltán

a Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi Felügyelőség nyugalmazott igazgatója (e-mail: z.veraszto@gmail.com)

DOI:10.59258/hk.24794



Kivonat

A Kárpát-medence vízháztartása az elmúlt mintegy másfél évszázad során jelentős átalakuláson ment keresztül. A folyószabályozások, ármentesítések, lecsapolások, a mezőgazdasági területhasználat változásai, a felszín alatti vízkivételek növekedése és az urbanizáció együttesen módosították a víz természetes körforgásának feltételeit. A kialakult vízháztartási problémák – talajvízszint-süllyedés, aszályérzékenység, vizes élőhelyek visszaszorulása és a szélsőséges hidrológiai események gyakoribbá válása – nem értelmezhetők kizárólag a klímaváltozás következményeként, hanem egy történetileg átalakított hidrológiai rendszerben jelentkeznek. A tanulmány a vízháztartási folyamatokat a táj működési rendszerének részeként értelmezi. Bemutatja, hogy a beszivárgás, a talajnedvesség, a felszín alatti vízáramlás és a párolgás nem önálló hidrológiai paraméterek, hanem a földtani felépítés, a domborzat, a talajok, a növényzet és a területhasználat által meghatározott összetett rendszer elemei. A vizsgálat rámutat arra, hogy a vízháztartási válság értelmezésének alapja a folyamatok tér- és időbeli összefüggéseinek feltárása, valamint a Kárpát-medence, mint természetes táji rendszer egységes vizsgálata. A tanulmány következtetése szerint a fenntartható vízgazdálkodás egyre inkább tájgazdálkodási kérdéssé válik. A vízháztartás stabilitásának hosszú távú biztosítása csak a táj vízmegtartó működésének helyreállításával, valamint a természeti folyamatok és a társadalmi döntések összehangolásával valósítható meg.

Kulcsszavak

Vízháztartás, vízháztartási sérülékenységi, táj, vízviisszatartás, beszivárgás, talajvíz, Kárpát-medence, tájgazdálkodás.

Water management vulnerability in the Carpathian Basin: the hydrological significance of the water retention function of the landscape

Abstract

The water balance of the Carpathian Basin has undergone a long-term transformation over the last 150 years, affecting the structure and functioning of hydrological processes at multiple spatial scales. While these changes are often interpreted in terms of climate variability and water resource use, they are also closely related to historical patterns of land use and landscape transformation associated with anthropogenic development. Since the late 19th century, river regulation, drainage interventions, agricultural intensification, groundwater abstraction, and urban expansion have collectively modified the pathways of water movement. These processes have contributed to reduced infiltration capacity, declining soil moisture, and changes in groundwater recharge conditions in several regions. The study adopts an integrated, landscape-based approach to water balance processes. It emphasises that infiltration, soil moisture dynamics, and subsurface flow systems are not independent variables, but are determined by the structural and functional properties of the landscape, including geology, geomorphology, soil characteristics, and vegetation cover. The analysis indicates that current water-related challenges cannot be interpreted solely as a consequence of climate change. Rather, climate variability interacts with an already modified hydrological system, in which the capacity of the landscape to retain and redistribute water has been altered. The paper argues that addressing these challenges may require a conceptual extension of conventional water management approaches. In addition to water allocation and regulation, greater emphasis should be placed on processes that influence water retention, residence time, and the interaction between surface and subsurface systems. The findings suggest that a landscape-oriented interpretation of water balance processes can contribute to a more comprehensive understanding of hydrological functioning and may support the development of more integrative approaches to water management planning and adaptation.

Keywords

Water management, water management vulnerability, infiltration, soil moisture, groundwater, landscape hydrology, landscape use, water retention, climate adaptation, Carpathian Basin.

BEVEZETÉS

A Kárpát-medence Európa egyik sajátos természetföldrajzi és hidrológiai rendszere. A medencejelleg, a hegy-köszorúval körülhatárolt vízgyűjtő viszonyok, a földtani szerkezet, a domborzat, valamint a klimatikus és a talajtani adottságok együttesen alakítják a térség vízháztartását. A felszíni és felszín alatti vízmozgások, a talajnedvesség, a növényzet és a mikroklima közötti kapcsolatok hosszú időn keresztül viszonylag stabil működési rendszert alkottak.

A 19. század második felétől azonban olyan léptékű vízrendezési és tájtalakítási folyamatok indultak meg, amelyek a vízháztartási viszonyokat alapvetően módosították. A folyószabályozások, az ármentesítések és a lecsapolások jelentős társadalmi és gazdasági eredményeket hoztak, ugyanakkor a víz természetes tér- és időbeli eloszlását is megváltoztatták (Pálfi 1994).

A 20. század végére egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy a vízháztartási problémák nem korlátozhatók kizárólag a vízkészletek mennyiségi kérdéseire. A Duna–Tisza közti

Homokhátság talajvízszint-süllyedése, a vizes élőhelyek visszaszorulása, az aszályérzékenység fokozódása és a szélsőséges hidrológiai események gyakoribbá válása arra utalnak, hogy a táj vízforgalmát szabályozó folyamatok is megváltoztak (*Pálfai 1994, OVF é. n.*).

A klímaváltozás hatásai – különösen a szélsőséges csapadékesemények és az aszályos időszakok gyakoribbá válása – a nemzetközi szakirodalomban is jól dokumentáltak (*IPCC 2023*). Ugyanakkor a Kárpát-medencében ezek a hatások egy már jelentősen átalakított hidrológiai rendszerben érvényesülnek.

A jelenlegi állapotok értelmezéséhez ezért nem elegendő a vízmozgások önálló vizsgálata. Szükséges azoknak a térbeli és időbeli folyamatoknak a feltárása is, amelyek a táj működését meghatározzák. A földtudományok fejlődésében ezt a szemléletet alapozta meg Lyell aktualizmuselmélete, amely szerint a jelen állapotai a múlt folyamataiból érthetők meg (*Lyell 1830–1833*). A térbeli kapcsolatok jelentőségére a magyar földtudományban Brezsnýánszky Károly mutatott rá, hangsúlyozva, hogy a földtani információ természeténél fogva térbeli információ (*Brezsnýánszky 2008*).

A tanulmány célja annak bemutatása, hogy a vízháztartási folyamatok a táj működésének részeként értelmezhetők, és hogy a Kárpát-medence vízháztartási problémáinak megértése a táj szerkezeti és funkcionális összefüggéseinek vizsgálatát igényli.

A GYORS VÍZLEVEZETÉS TÖRTÉNETI SZEREPE ÉS HIDROLÓGIAI KÖVETKEZMÉNYEI

A Kárpát-medence vízháztartási viszonyainak értelmezésében alapvető jelentőségű a felszíni és felszín alatti vízrendszerek kapcsolatának vizsgálata. A felszín alatti vízmozgások értelmezésének klasszikus modelljét Tóth József munkássága alapozta meg, aki kimutatta, hogy a felszín alatti vízáramlások hierarchikusan szerveződő rendszereket alkotnak (*Tóth 1963, 2009*).

A rendszerben elkülöníthetők:

- lokális áramlási rendszerek,
- intermedier áramlási rendszerek,
- regionális áramlási rendszerek.

A vízmozgások hajtóerejét alapvetően a domborzati különbségek és a beszivárgás biztosítja. A hegységi és dombsági térségek beszivárgási területei, valamint az alföldi kiáramlási zónák között sokszor jelentős távolságokat áthidaló hidraulikai kapcsolatok alakulnak ki.

A Kárpát-medence felszín alatti vízrendszere ugyanakkor nem tekinthető egységes és homogén hidrológiai rendszernek. A földtani szerkezet, a medencerészek eltérő fejlődéstörténete, valamint a vízáadó, illetve vízzáró képződmények heterogenitása következtében a kapcsolatok részlegesen és hierarchikusak. A teljes medencére kiterjedő egységes hidraulikai kapcsolat ezért nem feltételezhető (*Tóth 2009*).

Más a helyzet azonban a felszíni vízháztartás és a táji folyamatok szintjén. A medencét körülvevő vízválasztó hegynyékek domborzati, klimatikus, földtani és talajtani

adottságai meghatározó szerepet töltenek be a teljes medence vízháztartásában. A vízgyűjtő egységnek működése ezért hidrogeográfiai értelemben egységes rendszerként értelmezhető.

A 19. század második felében megkezdődött vízrendezési munkák célja az árvízveszélyek csökkentése, a mezőgazdasági művelésbe vonható területek növelése, valamint a települések fejlődésének elősegítése volt. A folyószabályozások, ármentesítések és lecsapolások koruk társadalmi és gazdasági igényeinek megfelelő, korszerű beavatkozásoknak tekinthetők.

A Tisza szabályozása során a folyó hossza jelentősen csökkent, az árterek nagy része leválasztásra került, és a víz levonulása lényegesen gyorsabbá vált. Hasonló folyamatok zajlottak le a Duna, a Körösök, a Maros és más vízrendszerek esetében is.

A beavatkozások eredményeként jelentősen nőtt a mezőgazdaságilag hasznosítható terület, csökkent az árvízi veszélyeztetettség, javultak a közlekedési feltételek, valamint fejlődhettek a települések és az infrastruktúra.

A vízrendezések hosszú távú következményei ugyanakkor túlmutatnak a közvetlen vízkárelhárítás kérdéseire. A gyors vízelvezetésre optimalizált rendszer fokozatosan csökkentette a táj természetes vízvisszatartó képességét, mérsékelte az árhullámok szétterülésének lehetőségét, és módosította a beszivárgás tér- és időbeli feltételeit.

A jelenlegi vízháztartási problémák értelmezésében ezért a történeti vízrendezések nem egyszerűen múltbeli események, hanem olyan folyamatok részei, amelyek hatásai napjainkban is érvényesülnek.

A KÁRPÁT-MEDENCE VÍZHÁZTARTÁSI VÁLÁSÁGA

A Kárpát-medence vízháztartási viszonyainak változása az elmúlt évtizedekben a hazai vízgazdálkodási és környezettudományi kutatások egyik központi témájává vált. A problémakör jelentőségét az adja, hogy egyidejűleg figyelhetők meg a víztöbblet és a vízhiány különböző formái.

Miközben továbbra is jelentős árvízi és belvízi kockázatok jelentkeznek, egyre nagyobb térségekben figyelhető meg:

- a talajvízszintek süllyedése,
- a talajnedvesség csökkenése,
- a vizes élőhelyek visszaszorulása,
- az aszályérzékenység növekedése,
- a szélsőséges hidrológiai események gyakoribbá válása.

A probléma legismertebb példája a Duna–Tisza közti Homokhátság térsége, ahol a talajvízszintek csökkenése már az 1980-as évek végétől a kutatások középpontjába került (*Pálfai 1994*).

A vizsgálatok hamar rámutattak arra, hogy a kialakult helyzet nem vezethető vissza egyetlen okra. A háttérben egyszerre játszanak szerepet:

- a klimatikus viszonyok változásai,
- a felszín alatti vízáramlási rendszerek sajátosságai,

- a vízrendezési beavatkozások,
- a felszín alatti vízkivételek,
- a mezőgazdasági művelés változásai,
- az erdősültség módosulása,
- a településfejlődés hatásai (Pálfi 1994).

A probléma jelentőségét jól mutatja, hogy az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) külön programot indított a Duna–Tisza közti homokhátság vízhiányos ökológiai állapotának javítására. A program már nem pusztán vízgazdálkodási beavatkozásokban, hanem komplex tájhasználat-váltásban és vízvisszatartási megoldásokban gondolkodik (OVF é. n.).

A Kárpát-medence más térségeiben hasonló folyamatok figyelhetők meg. A folyószabályozások, ármentesítések, lecsapolások, felszín alatti vízkivételek, a talajállapot változásai, a beépített felszínnek növekedése és a növényborítottság módosulása együttesen alakították át a víz természetes körforgásának feltételeit.

Ennek következtében:

- csökkent a természetes vízvisszatartás,
- mérséklődött a beszivárgás lehetősége,
- nőtt a gyors lefolyás aránya,
- romlottak a felszín alatti utánpótlás feltételei.

A jelenlegi helyzetet tovább súlyosbítja a klímaváltozás. A nemzetközi értékelések szerint a szélsőséges csapadékesemények és az aszályos időszakok gyakorisága több térségben növekszik (IPCC 2023). A Kárpát-medencében azonban ezek a hatások egy már korábban módosított hidrológiai rendszerben jelentkeznek.

A vízháztartási válság ezért nem értelmezhető kizárólag klimatikus kérdésként. A jelenlegi állapotok a történeti tájalakító folyamatok, a vízrendezési beavatkozások, a területhasználat-változások és a klímaváltozás együttes eredményeként formálódtak.

A kialakult helyzet megértéséhez ezért nem elegendő az egyes vízgazdálkodási elemek elkülönített vizsgálata. Szükségessé válik azoknak a folyamatoknak az együttes értelmezése, amelyek a táj működését alakítják.

A fenntarthatósági válság alapvető oka nem a tudományos ismeretek hiánya, hanem az, hogy a valóságban összekapcsolódó folyamatokat a tudomány és a gyakorlat is gyakran elkülönülten kezeli.

A FOLYAMATOK JELENTŐSÉGE A VÍZHÁZTARTÁSI VÁLSÁG ÉRTELMEZÉSÉBEN

A vízháztartási válság okainak feltárása túlmutat az egyes hidrológiai jelenségek leírásán. A jelenlegi állapotok megértéséhez szükségessé válik azoknak a folyamatoknak a vizsgálata, amelyek hosszabb idő alatt alakították ki a ma megfigyelhető viszonyokat. A földtudományok fejlődésének egyik legfontosabb felismerése éppen annak belátása volt, hogy a jelen állapotaik csak a múltban lezajlott folyamatok ismeretében értelmezhetők.

E szemlélet tudományos megalapozását Charles Lyell aktualizmuselmélete adta meg (Lyell 1830–1833). Lyell szerint a földtörténeti múlt eseményei a jelenben is megfigyelhető folyamatok alapján érthetők meg. Az aktua-

lizmus a modern földtudomány egyik alapelvevé vált, jelentősége azonban messze túlmutat a klasszikus geológián. Általános érvényű felismerése, hogy a jelenlegi állapotok a múlt folyamataiból következnek.

A vízháztartási válság értelmezésében ez különös jelentőséggel bír. A talajvízszintek alakulása, a beszivárgási viszonyok, a felszíni lefolyás mértéke vagy a vizes élőhelyek állapota nem pillanatnyi jelenség. Ezek olyan folyamatok eredményei, amelyek gyakran évtizedek vagy évszázadok alatt alakultak ki. A jelenlegi problémák ezért nem egyetlen eseményre, hanem hosszú történeti fejlődési folyamatokra vezethetők vissza.

A folyamatok vizsgálata ugyanakkor szükségszerűen térbeli megközelítést is igényel. A földtudományban erre hívta fel a figyelmet Brezsnýánszky Károly, aki rámutatott arra, hogy a geológiai idő a térben válik értelmezhetővé. A múlt folyamatai térbeli mintázatokban rögzülnek, és ezek a mintázatok hordozzák a fejlődéstörténet információit (Brezsnýánszky 2008).

Ennek alapján a földtani információ természeténél fogva térbeli információ. Ez a felismerés a hidrológiai folyamatokra is érvényes. A beszivárgás, a párolgás, a felszíni lefolyás, a talajnedvesség vagy a felszín alatti vízáramlás nem pontszerű jelenségek. Mindegyik térbeli kapcsolatrendszerekben működik, és csak e kapcsolatok figyelembevételével értelmezhető.

A vízháztartási folyamatok vizsgálata ezért nem korlátozódhat kizárólag mennyiségi mérlegekre vagy lokális állapotjellemzőkre. A folyamatok tér- és időbeli összefüggéseinek feltárása nélkül a kialakult helyzet csak részlegesen érthető meg.

A folyamatok jelentőségét a környezetvédelem jogi szabályozása is tükrözi. A magyar környezetvédelmi szabályozás nem csupán a környezeti elemek állapotának megőrzésére irányul, hanem a környezeti folyamatok védelmére is. Hasonló szemlélet jelenik meg az European Landscape Convention megközelítésében, amely a tájat természeti és emberi folyamatok együttes eredményeként értelmezi (2007. évi CXI. törvény).

A vízháztartási válság értelmezésének ezért alapvető feltétele a folyamatok tér- és időbeli összefüggéseinek vizsgálata.

E felismerés ugyanakkor további kérdést vet fel: mi az a természetes működési egység, amelyen belül ezek a folyamatok értelmezhetők?

A válasz keresése vezet el a táj fogalmához, illetve annak felismeréséhez, hogy a vízháztartási folyamatok nem önálló rendszerként, hanem egy tágabb működési egység részeként értelmezhetők.

A TÁJ MINT HIDROLÓGIAI RENDSZER

A folyamatok tér- és időbeli összefüggéseinek felismerése szükségszerűen vezet el ahhoz a kérdéshez, hogy mi az a természetes működési egység, amelyen belül a vízháztartási folyamatok értelmezhetők.

A hidrológiai vizsgálatok hagyományosan a víz mozgására, készleteire és azok változásaira koncentrálnak. A

víz azonban a természetben nem önállóan létezik, hanem mindig egy összetett környezeti rendszer részeként jelenik meg.

A kérdés tudománytörténeti előzményei a földrajzi gondolkodás fejlődésében kereshetők. Teleki Pál akadémiai székfoglalójában hangsúlyozta, hogy a földrajzi vizsgálatok tárgya nem az egyes jelenségek elkülönített leírása, hanem azok térbeli kapcsolatrendszere (*Teleki 1917, 1996*). Ebben az értelmezésben a táj nem egyszerű területi egység vagy felszíni látvány, hanem különböző természeti és társadalmi folyamatok kölcsönhatásának eredménye.

A földtani felépítés meghatározza a víztároló és vízvezető képződmények tulajdonságait. A domborzat kijelöli a lefolyási viszonyokat. A talajok szabályozzák a beszívargást. A növényzet befolyásolja a párolgást és a vízvisszatartást. Az éghajlat meghatározza a csapadék és a párolgás egyensúlyát.

E tényezők működése kölcsönösen feltételezi egymást. A víz ebben a rendszerben sajátos szerepet tölt be. Nem csupán a táj egyik alkotóeleme, hanem kapcsolatot teremt a különböző tájalkotó tényezők között. A csapadék a légkörből érkezik, a talajon keresztül a felszín alatti rendszerekbe jut, kölcsönhatásba lép a növényzettel, majd párolgás útján ismét visszakérül a légkörbe.

A víz körforgása így valamennyi tájalkotó tényezőt összekapcsolja. A környezettudomány fejlődése során egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy a környezeti problémák nem értelmezhetők kizárólag az egyes környezeti elemek elkülönített vizsgálatával. A „környezet = táj” szemlélet abból indul ki, hogy a környezetet a tájalkotó tényezők és folyamatok kapcsolatrendszereként kell értelmezni (*Verrasztó 1979, 1993, 2017*).

Ebben a megközelítésben a vízháztartás a táj működésének egyik alapvető folyamata, amely egyidejűleg függ:

- a földtani adottságoktól,
- a domborzattól,
- a talajoktól,
- a növényzettől,
- valamint a társadalmi területhasználattól.

A vízháztartás ugyanis nem önálló rendszer, hanem a táj egyik működési folyamata. Ez a felismerés alapvető jelentőségű a Kárpát-medence vízháztartási problémáinak értelmezésében. Ha a vízháztartás a táj működésének része, akkor a kialakult válság okai sem kereshetők kizárólag a hidrológiai folyamatok körében. A magyarázatot a táj egészének működésében, illetve annak történeti átalakulásában kell keresni.

A KÁRPÁT-MEDENCE MINT TERMÉSZETES HIDROLÓGIAI RENDSZER

A vízháztartás táji meghatározottságának felismerése szükségszerűen veti fel a kérdést, hogy milyen térléptékben értelmezhető a Kárpát-medence vízháztartási rendszere.

A Kárpát-medence Európa egyik legjellegzetesebb természetföldrajzi egysége. A medencét körülvevő hegysek nem csupán domborzati keretet alkotnak, hanem

egyben a felszíni vízgyűjtő rendszer természetes határait is kijelölik. A hegységi térségekben lehulló csapadék jelentős része a medence belseje felé irányuló vízrendszerben keresztül jut el az alacsonyabb térszínre.

A felszíni vízháztartás szempontjából ezért a Kárpát-medence természetes egységként viselkedik. A medence működésének megértéséhez ugyanakkor különbséget kell tenni a felszíni és a felszín alatti rendszerek között. A felszín alatti vízáramlások esetében – amint azt *Tóth (1963, 2009)* kimutatta – hierarchikusan szerveződő áramlási rendszerek működnek, amelyek között részleges hidraulikai kapcsolat áll fenn. Ezért nem tekinthető egységes hidrogeológiai rendszernek a teljes medence.

A táj működése szempontjából azonban más kép rajzolódik ki. A vízgyűjtő területek, a hordalékszállítás, az üledékfelhalmozódás, a lefolyási rendszerek, valamint a klimatikus és ökológiai kapcsolatok együttesen olyan természetes működési egységet alkotnak, amelynek értelmezése csak a teljes medence léptékében lehetséges (*Teleki 1917, 1996, Brezsnýánszky 2008*).

A Kárpát-medence fejlődéstörténete során a víz nemcsak alakította, hanem össze is kapcsolta a különböző tájegységeket. A folyók, a hordalékkúpok, az árterek és a felszín alatti vízrendszerek olyan kapcsolathálózatot hoztak létre, amely a medence különböző részeit egymással kölcsönhatásba hozza.

Ebben a rendszerben különös jelentőségű az erózióbázis szerepe. A felszínformáló folyamatok, az üledék-szállítás és a vízmozgások végső soron a medence – zömmel a mai napig is süllyedő – alacsonyabb térszínei felé rendeződnek.

Magyarország földrajzi helyzete ebből a szempontból sajátos. A Kárpát-medence központi és legalacsonyabb térszíneinek jelentős része a mai Magyarország területén található, ezért a környező vízválasztókról induló folyamatok hatásai itt koncentráltan jelentkeznek.

A vízkészletek mennyisége, minősége, az üledékszállítás, a talajvízviszonyok, valamint az árvízi és aszályos folyamatok egyaránt összefüggésben állnak a teljes medence működésével. A Kárpát-medence tehát nem pusztán földrajzi tér.

A Kárpát-medence természetes hidrológiai és táji rendszer

Mivel a Kárpát-medence természetes hidrológiai és táji rendszer, ebből következően a vízháztartási problémák okai és következményei sem értelmezhetők kizárólag helyi jelenségekként. A medence különböző részein végrehajtott tájalakító beavatkozások, a területhasználat változásai és a vízvisszatartó képességet befolyásoló folyamatok együttesen alakítják a rendszer egészének működését.

A jelenlegi állapotok megértéséhez ezért nem elegendő a természetes adottságok vizsgálata. Fel kell tárni azokat az emberi beavatkozásokat is, amelyek az elmúlt évszázadok során módosították a táj vízháztartási működését.

A TÁJHASZNÁLAT-VÁLTOZÁSOK VÍZHÁZTARTÁSI KÖVETKEZMÉNYEI

A Kárpát-medence jelenlegi vízháztartási állapota nem kizárólag természetes folyamatok eredménye. Az elmúlt évszázadok során a társadalom egyre intenzívebben alakította át a tájat saját igényeinek megfelelően. Ezek a beavatkozások rendszerint indokolhatók voltak az adott kor gazdasági és társadalmi szükségleteivel, ugyanakkor jelentősen módosították a vízkörforgás feltételeit (*Pálfai 1994, Verrasztó 1993*).

Árterek leválasztása és folyószabályozások

A folyószabályozások és ármentesítések következtében a korábbi természetes árterek jelentős része elvesztette kapcsolatát a folyókkal. A beavatkozások eredményeként:

- nőtt a művelhető területek nagysága,
- csökkent az árvízi veszélyeztetettség,
- fejlődhettek a települések és a közlekedési hálózatok.

Ugyanakkor csökkent a táj természetes vízviesszartartó képessége, mérséklődött az árhullámok szétterülésének lehetősége, és megszakadt számos kapcsolat a folyók és árterek között.

A víz gyorsabb levezetése rövid távon kedvező eredményeket hozott, hosszabb távon azonban hozzájárult a vízkészletek tér- és időbeli egyensúlyának módosulásához.

Lecsapolások és belvízrendezések

A mocsarak, lápok és időszakosan vízjárta területek jelentős részét mezőgazdasági vagy települési célokra hasznosították. A folyamat eredményeként:

- csökkent a természetes víztározó területek nagysága,
- mérséklődött a beszivárgás lehetősége,
- romlottak a talajvíz-utánpótlás feltételei,
- visszaszorultak a vizes élőhelyek.

Különösen az Alföld egyes térségeiben figyelhető meg, hogy a korábbi vízjárta rendszerek megszűnésével a vízháztartási viszonyok alapvetően megváltoztak (*Pálfai 1994*).

A mezőgazdasági területhasználat átalakulása

A mezőgazdaság intenzifikálódása jelentősen módosította a talajok vízháztartási tulajdonságait. A gépesítés, a művelési rendszerek átalakulása és a talajtömörödés következtében sok térségben csökkent a talajok vízbefogadó képessége. Ennek következményeként:

- nőtt a felszíni lefolyás aránya,
- csökkent a beszivárgás,
- mérséklődött a helyben tárolható vízkészlet.

Humuszvesztés és talajszerkezet-romlás

A talajok vízmegtartó képessége szorosan összefügg szervesanyag-tartalmukkal és szerkezetükkel. A humusz-tartalom csökkenése és a talajszerkezet romlása számos térségben mérsékelte a víz tájban történő visszatartásának lehetőségét.

A talaj így nem csupán a növénytermesztés közege, hanem a vízháztartás egyik legfontosabb szabályozó eleme is.

Településfejlődés és beépítés

A beépített felszínek arányának növekedése csökkenti a természetes beszivárgás lehetőségét, miközben növeli a gyors felszíni lefolyást. Ennek következtében a városi térségekben gyakran egyszerre jelentkezik a vízhiány, valamint a villámárvizek problémája. A jelenség jól mutatja, hogy a vízháztartás nem kizárólag a csapadék mennyiségétől, hanem a táj szerkezetétől is függ.

A növényborítottság változásai

A növényzet a vízháztartás egyik legfontosabb szabályozó tényezője. A különböző növénytakasulások eltérően befolyásolják:

- a beszivárgást,
- a párolgást,
- a talajnedvességet,
- valamint a mikroklímát.

A növényborítottság változásai ezért nem csupán ökológiai, hanem hidrológiai jelentőséggel is bírnak (*Verrasztó 2010, Miklós és társai 2014*).

Fejezetösszegzés

Az árterek leválasztása, a lecsapolások, a mezőgazdasági művelés átalakulása, a talajállapot romlása, a beépítés növekedése és a növényborítottság változásai együttesen alakították át a Kárpát-medence vízháztartási működését.

Közös következményük a természetes vízviesszartartás csökkenése, a beszivárgás mérséklődése, valamint a gyors vízlevezetés arányának növekedése. Ennek következtében a vízháztartási válság a táj működési rendszerének történeti átalakulásával párhuzamosan alakult ki.

A VÍZÜGYI SZEMLELET FEJLŐDÉSE ÉS A TÁJI VÍZGAZDÁLKODÁS IGÉNYE

A Kárpát-medence vízháztartási viszonyait alakító beavatkozások mindig az adott kor társadalmi igényeihez és tudományos ismereteihez igazodtak. A folyószabályozások, ármentesítések, lecsapolások és vízrendezések elsődleges célja a természeti kockázatok mérséklése, a mezőgazdasági termelés feltételeinek javítása, valamint a települések és az infrastruktúra fejlesztése és védelme volt.

E beavatkozások nélkül a modern társadalmi és gazdasági fejlődés nem lett volna elképzelhető. A vízügyi gyakorlat fejlődése ezért nem hibák sorozataként, hanem az adott kor kihívásaira adott válaszok történeteként értelmezhető.

A 19. és 20. század vízgazdálkodási szemlélete elsősorban a vízkárok elleni védekezésre, a víz biztonságos elvezetésére, valamint a termelési feltételek javítására koncentrált. E vízgazdálkodási korszak eredményei jelentős mértékben hozzájárultak a mezőgazdaság fejlődéséhez, a települések biztonságához, az infrastruktúra kiépítéséhez, valamint az ivóvízellátás és a vízhasználatok fejlődéséhez.

Az elmúlt évtizedek kutatásai ugyanakkor egyre világosabban rámutattak arra, hogy a víz gyors elvezetésére optimalizált rendszerek hosszú távon olyan mellékhatásokkal is járhatnak, amelyek a táj vízháztartási stabilitását gyengítik (*Pálfai 1994*).

A Homokhátság vizsgálatai, az Ipoly-vízgyűjtő monitoringrendszere (Miklós és Verrasztó 2010), valamint a Bódva-vízgyűjtő döntéstámogató vizsgálatai egyaránt azt mutatták, hogy a vízháztartási problémák jelentős része nem pusztán a vízkészletek mennyiségével, hanem a táj működésének megváltozásával függ össze (Verrasztó 2010, Miklós és társai 2014, Balogh és társai 2015).

A tudományos ismeretek bővülésével fokozatosan előtérbe került:

- a vízviszataratás,
- a természetes vízkörforgás támogatása,
- a vizes élőhelyek rehabilitációja,
- a tájhasználat vízháztartási szempontú értékelése.

Ez a szemléletváltás nem a korábbi eredmények megkérdőjelezését jelenti, éppen ellenkezőleg. A jelenlegi helyzet nem a korábbi vízügyi gondolkodás cáfolatát, hanem annak természetes továbbfejlődését teszi szükségessé.

A Duna-Tisza közti Homokhátság vízhiányos ökológiai állapotának javítását célzó programok már kifejezetten komplex tájhasználat-váltásban és vízviszataratási megoldásokban gondolkodnak (OVF é. n.).

A fejlődés iránya egyértelmű: a víz mennyiségi szabályozásától fokozatosan a vízkörforgás működési feltételeinek fenntartása felé.

A szemlélet fejlődése annak felismerését tükrözi, hogy a vízmozgások, a talajállapot, a növényzet, a felszín alatti rendszerek és a területhasználat egymással kölcsönhatásban működnek. A fenntartható vízgazdálkodás ezért egyre inkább tájgazdálkodási kérdéssé válik. Nem azért, mert a hidrológiai megközelítés elveszítené jelentőségét, hanem azért, mert a hidrológiai folyamatok maguk is a táj működésének részei.

A TÁJ VÍZMEGTARTÓ FUNKCIÓJÁNAK HELYREÁLLÍTÁSA

A Kárpát-medence vízháztartási problémái nem kizárólag a vízkészletek mennyiségének változásából erednek. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a táj vízforgalmát szabályozó folyamatok jelentős része módosult, aminek következtében:

- csökkent a természetes vízviszataratás,
- mérséklődött a beszivárgás,
- nőtt a felszín alatti vízkivétel,
- növekedett a gyors vízelvezetés aránya.

Amennyiben a vízháztartás a táj működésének része, akkor a vízháztartási stabilitás helyreállítása sem korlátozódhat kizárólag a víz közvetlen kezelésére. A megoldás szükségszerűen a táj működési folyamatainak helyreállítását igényli.

Árterek és vízterek szerepének újraértékelése

A folyószabályozások és ármentesítések eredményeinek megőrzése mellett célszerű lehet azoknak a területeknek az azonosítása, ahol a természetes vízviszataratás legalább részben helyreállítható.

Az árterek időszakos működésének helyreállítása hozzájárulhat:

- a felszíni vízkészletek stabilizálásához,
- a beszivárgás növeléséhez,
- a szélsőséges hidrológiai helyzetek mérsékléséhez.

A beszivárgás növelése

A vízháztartás egyik kulcseleme a csapadék helyben tartása. A talajszerkezet javítása, a talajtömörödés mérséklése, valamint a humusztartalom növelése jelentősen javíthatja a beszivárgás feltételeit. A vízviszataratás egyik leghatékonyabb formája gyakran nem új műszaki létesítmények építése, hanem a lehulló csapadék tájban tartásának elősegítése.

A növényzet vízháztartási szerepe

A vegetáció a vízháztartás egyik legfontosabb szabályozó tényezője. A növényzet:

- befolyásolja a beszivárgást,
- szabályozza a párolgást,
- hatással van a talajnedvességre,
- alakítja a mikroklímát.

A különböző tájhasználati formák vízháztartási következményeinek figyelembevétele ezért alapvető feltétele a fenntartható vízgazdálkodásnak.

Tájléptékű vízviszataratás

A vízháztartási problémák jelentős része nem helyi, hanem rendszerjellegű. Ennek megfelelően a beavatkozásoknak is túl kell mutatniuk az egyes létesítmények vagy részterületek szintjén. A vízviszataratás eredményessége attól függ, hogy a táj különböző elemei milyen mértékben képesek együttműködni a víz körforgásának fenntartásában.

Fejezetösszegzés

A táj vízmegtartó funkciójának helyreállítása nem pusztán vízgazdálkodási feladat. A földtani adottságok, a domborzat, a talajok, a növényzet, a területhasználat és a vízrendszerek összehangolt kezelését igénylő rendszerfeladat. Ebből következően a vízháztartási stabilitás hosszú távú biztosítása csak a táj egészének működését figyelembe vevő megközelítéssel valósítható meg.

KÖRNYEZETI CÉLÁLLAPOT ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A vízháztartási válság okainak és lehetséges kezelési módjainak vizsgálata szükségszerűen vezet el egy további kérdéshez:

Milyen állapotot tekintünk kívánatosnak?

A vízviszataratás szükségességének felismerése önmagában még nem jelöli ki a célállapotot. A gyakorlati döntések során elkerülhetetlenül felmerülnek olyan kérdések, mint:

- Milyen talajvízszint tekinthető kívánatosnak?
- Mekkora ártér működjön ismét aktívan?
- Milyen beszivárgási arány tekinthető megfelelőnek?
- Milyen tájszerkezet szolgálja leginkább a fenntarthatóságot?

E kérdések megválaszolásában a tudomány jelentős segítséget nyújthat: feltárva a folyamatokat, modellezheti a következményeket, elemezheti az alternatívákat, becsülheti a kockázatokat. Arra azonban önmagában nem képes, hogy kijelölje, melyik lehetséges állapot a társadalom számára kívánatos.

A környezeti célállapot meghatározása ezért végső soron társadalmi döntés. Ugyanakkor a döntés szabadsága nem korlátlan. A kijelölt célállapot következményeit a természeti folyamatok határozzák meg. A táj működési törvényszerűségei nem igazodnak a társadalmi preferenciákhoz, hanem a fizikai, kémiai és biológiai folyamatok szabályai szerint működnek.

A célállapot meghatározása társadalmi döntés, azonban annak következményeit a táj működési törvényszerűségei határozzák meg.

Ebben az értelemben a tudomány feladata nem a döntések meghozatala, hanem azok következményeinek feltárása. Számos vizsgálatból levonhatjuk azt a következtetést, hogy a Kárpát-medence jelenlegi vízháztartási problémái nem kizárólag a klímaváltozás következményei. A kialakult helyzet olyan történeti folyamatok eredménye, amelyek során a táj vízforgalmát meghatározó szerkezeti és működési kapcsolatok jelentős mértékben módosultak. Ezért látjuk fontosnak megvilágítani, hogy:

- a jelenlegi állapotok a múlt folyamataiból következnek,
- a vízháztartási problémák csak térbeli és időbeli összefüggéseikben érthetők meg,
- a vízháztartás nem önálló rendszerként, hanem a táj működésének részeként értelmezhető,
- a Kárpát-medence természetes hidrológiai és táji rendszerként vizsgálható,
- a tájhasználat-változások alapvetően befolyásolják a vízháztartási folyamatokat,
- a vízügyi szemlélet fejlődése fokozatosan a táji vízgazdálkodás irányába mutat.

A tanulmány eredményei alapján megállapítható, hogy a fenntartható vízgazdálkodás egyre inkább tájgazdálkodási kérdéssé válik. A vízháztartási stabilitás hosszú távú biztosítása nem kizárólag a vízkészletek mennyiségi kezelésétől függ, hanem a táj vízmegtartó működésének fenntartásától és helyreállításától is.

A vizsgálatok egy általánosabb tanulságra is rámutatnak: a fenntarthatósági válság alapvető oka nem a tudományos ismeretek hiánya, hanem az, hogy a valóságban összekapcsolódó folyamatokat a tudomány és a gyakorlat gyakran elkülönülten kezeli.

A Kárpát-medence vízháztartási problémáinak kezelése ezért nem kizárólag vízgazdálkodási, hanem tájgazdálkodási feladat. A döntés társadalmi, de a következmények nem szavazhatók meg.

IRODALOMJEGYZÉK

2007. évi CXI. törvény a Firenzében, 2000. október 20-án kelt, az Európai Táj Egyezmény kihirdetéséről.

Breznysánszky K. (2008). Geológiai idő a térképen. Magyar Tudomány 169(11). pp. 1324-1332.

IPCC (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva.

Lyell, C. (1830–1833). Principles of Geology. London.

Miklós L., Verrasztó Z. (2010). Határokon és tudományterületeken átívelő környezeti információrendszer az Ipoly vízgyűjtőjén. A Magyar Tudomány Ünnepe konferenciakötet. <https://doi.org/10.56617/tl.4000>

Miklós L., Németh R., Verrasztó Z. (2014). Application of GIS in Studying the Drainage Basin of the Ipoly River. Scientific Annals of the Danube Delta Institute 20. pp. 109-128.

OVF (é.n.). Duna–Tisza közti Homokhátság vízhiányos ökológiai állapotának javítása. Országos Vízügyi Főigazgatóság programdokumentum.

Pálfai I. (szerk.) (1994). A Duna–Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba.

Teleki P. (1917). A földrajzi gondolat története. MTA székhelyi kiadvány.

Teleki P. (1996). A földrajzi gondolat története. Kosuth Kiadó, Budapest.

Tóth J. (1963). A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins. Journal of Geophysical Research 68(16). pp. 4795-4812. <https://doi.org/10.1029/jz068i016p04795>

Tóth J. (2009). Gravitational Systems of Groundwater Flow. Cambridge University Press.

Verrasztó Z. (1979). Land Formation and the Geological Aspects of Environmental Protection. IAEG Symposium, Warszawa.

Verrasztó Z. (1993). A tájfejlődés és a vízháztartás kapcsolatviszonyai – a környezeti hatásvizsgálat alapjai. Egyetemi doktori értekezés, ELTE TTK.

Verrasztó Z. (2000). Térképi döntéstámogatás a környezetvédelemben. PhD értekezés, ELTE IK.

Verrasztó Z. (2010). Környezeti monitoring vizsgálatok az Ipoly vízgyűjtőjén. Tájökológiai Lapok 8(3). 535-561. <https://doi.org/10.56617/tl.4000>

Verrasztó Z. (2017). Holisztikus környezeti modellezés kartográfiai, GIS és távérzékelési módszerek alkalmazásával. RS&GIS 7(1). pp. 490-516.

SZERZŐ

VERRASZTÓ ZOLTÁN a Szabó József Geológiai Technikumban érettségizve geológusteknikus szak-képzettséget szerzett, 1968-tól az Országos Vízügyi Hivatal intézményeiben dolgozott hidrogeológusként. 1970-75 között munkája mellett az ELTE TTK-n tanulva földrajz szakos okleveles középiskolai tanár, okleveles hidrogeográfus és okleveles kartográfus diplomát kapott. 1990-től az önállóuló környezetvédelmi szervezetben a közép-magyarországi regionális környezetvédelmi hatóság igazgatója. 2000-ben a Szent István Egyetemen környezetvédelmi szakmérnöki szakképzettséget is szerzett. 1993-ban az ELTE TTK Alkalmazott- és Környezetföldtani Tanszékén vízföldtanból egyetemi doktori (dr. univ.) címet, majd 2000-ben az ELTE Informatikai Kar Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszékén földtudomány doktora (PhD) fokozatot kapott.



Az Atkai Holt-Tisza a vízbevezetés környezetében (ATIVIZIG)

A nyílt vízfelület tényleges párolgásának alakulása a Tisza magyarországi szakaszán különböző becslési módszerek alapján

Foris Attila^{1,2}

¹ Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, 6720 Szeged, Stefánia 4. (e-mail: Foris.Attila@ativizig.hu)

² SZTE Környezettudományi Doktori Iskola PhD hallgató

DOI: 10.59258/hk.24795



Kivonat

A tényleges párolgás pontos becslése alapvető jelentőségű a folyók vízháztartásának, a vízgazdálkodásnak és a klímaváltozás hatásainak értékelése szempontjából, különösen nagy kiterjedésű vízfolyások esetében. Jelen tanulmány célja a Tisza folyó teljes magyarországi szakaszán a tényleges párolgás becslése és összehasonlító elemzése három eltérő fizikai alapú modell (Penman–Monteith, De Bruin–Keijman (DBK) és Makkink) alkalmazásával. Az elemzés 11 mérőállomás 2001–2023 közötti meteorológiai adataira épül, éves és szezonális léptékben vizsgálva a térségi mintázatokat, trendeket és a modellek közötti korrelációkat. Az eredmények enyhe abszolút eltéréseket mutatnak a modellek között: a Penman–Monteith modell éves kumulatív értékei a legmagasabbak (835–963 mm/év), a Makkink-modellé közepes (756–817 mm/év), míg a DBK-modellé a legalacsonyabbak (693–752 mm/év). A folyó mentén a térségi mintázat nem volt egységes: helyenként növekedés, máshol csökkenés volt megfigyelhető a modellek eredményeiben. Ezzel szemben minden modell időben növekvő trendet mutatott, ami összhangban van a térség fokozódó melegedésével és a sugárzási viszonyok változásával. A legerősebb korrelációt a Makkink–DBK-modellpár mutatta ($R^2 = 0,913$ az összes állomásra átlagolva). A tanulmány újdonsága, hogy hosszú idősoron, a Tisza teljes magyarországi szakaszán hasonlítja össze a párolgásbecslési módszereket. Eredményei alapján a Makkink-modell megbízható kompromisszumot kínál korlátozott adatkörnyezetben, és jól alkalmazható a Tisza vízgazdálkodási és klímakutatással kapcsolatos vizsgálataiban.

Kulcsszavak

Tényleges párolgás, Tisza, Magyarország, Penman–Monteith-modell, De Bruin–Keijman DBK-modell, Makkink-modell.

Trends in actual evaporation from open water surfaces along the Hungarian section of the Tisza River based on various estimation methods

Abstract

Accurate estimation of actual evaporation is of fundamental importance for assessing river hydrology, water management, and the impacts of climate change, particularly in the case of large-scale watercourses. The aim of this study is to estimate and conduct a comparative analysis of actual evaporation along the entire Hungarian section of the Tisza River using three different physically based models (Penman–Monteith, De Bruin–Keijman, and Makkink). The analysis is based on meteorological data from 11 gauging stations between 2001 and 2023, examining spatial patterns, trends, and correlations between the models on annual and seasonal scales. The results show slight absolute differences between the models: the annual cumulative values of the Penman–Monteith model are the highest (835–963 mm/year), those of the Makkink-model are intermediate (756–817 mm/year), while those of the DBK-model are the lowest (693–752 mm/year). The spatial pattern along the river was not uniform: increases were observed in some places, while decreases were observed in others in the models' results. In contrast, all models exhibited an increasing temporal trend, which is consistent with the region's intensifying warming and changes in radiative conditions. The strongest correlation was shown by the Makkink–DBK-model pair ($R^2 = 0.913$, averaged across all stations). The novelty of this study lies in its comparison of evaporation estimation methods over a long time series across the entire Hungarian section of the Tisza River. Based on its results, the Makkink-model offers a reliable compromise in a limited data environment and is well-suited for studies related to water management and climate research on the Tisza River.

Keywords

Actual evaporation, Tisza, Hungary, Penman–Monteith-modell, De Bruin–Keijman DBK-modell, Makkink-modell.

BEVEZETŐ

A párolgás fizikai értelemben olyan fázisátalakulási folyamat, amely során a folyékony halmazállapotú anyag molekulái elegendő energiát nyernek, hogy legyőzzék az intermolekuláris kohéziós erőket és gőzfázisba lépjenek anélkül, hogy a forráspontot elérnék. Másrészt a folyamat a vízkörforgás egyik meghatározó összetevője, amely alapvetően befolyásolja a felszíni és felszín alatti vízkészlet alakulását, a vízmérleget, valamint a vízgazdálkodási dön-

tések megalapozását. Különösen igaz ez nagy folyórendszerek esetében, ahol a párolgás jelentős szerepet játszik a vízhőmérséklet alakulásában és az ökológiai állapot formálásában. Az éghajlatváltozás hatására tapasztalható hőmérséklet-emelkedés és a csapadéeloszlás módosulása tovább növeli a párolgási folyamatok jelentőségét, valamint a szélsőséges hidrometeorológiai események gyakoribbá válását, különösen az aszályok és árvizek tekintetében az előrejelzések alapján (Schneller és társai 2013). Ezt

a kockázatot tovább súlyosbítja az a felismerés, hogy számos európai folyó vízgyűjtőjén – ahol egy adott szélsőséges eseménytípus dominál – a többi szélsőség potenciális hatásai gyakran háttérbe szorulnak, és nem épülnek be kellő hangsúllyal a vízgazdálkodási döntéshozatalba (Huntjens és társai 2010), amit a klímaprojekciókon alapuló hidrológiai vizsgálatok is alátámasztanak, amelyek a távoli jövőre vonatkozóan a nagyvizek és árvízi szintek növekedését jelzik a Kárpát-medencében, a Tisza vízgyűjtő területén (Didovets és társai 2019).

A párolgás fogalma több, egymással összefüggő részfolyamatot foglal magában. Evaporáció alatt a folyékony víz gáz halmazállapotúvá alakulását értjük, amely bármilyen nedves felületről történik és energiát igényel a folyamat végbemenetéhez, míg a transzspiráció a növényekből történő vízvesztést jelent, amikor a gyökereken keresztül felvett víz a levelek apró nyílásain, a sztomákon keresztül párolog el a légkörbe (Brown 2014). E kettő együttesen alkotja az evapotranszspirációt, amely a természetes és mezőgazdasági felszínek vízmérlegének kulcseleme (Allen és társai 1998). Az evapotranszspirációnak különböző értékei ismertek: a potenciális evapotranszspiráció (ET_p) a növények számára ideális, vízhiánytól mentes körülmények között maximálisan elérhető párolgás és transzspiráció mértékét jelenti, míg a referencia evapotranszspiráció (ET_0) egy standardizált, jól definiált, rövid, sűrűn növényzettel borított területen mért érték, amely lehetővé teszi a növényzet vízigényének következetes és összehasonlítható becslését különböző helyszíneken és időszakokban (Irmak és Haman 2003). Ezen mennyiségek különböző szempontok alapján történő összehasonlítását az 1. táblázat tartalmazza. Hidrológiai szempontból különbséget teszünk a területi párolgás, a nedves környezet párolgása és a kis kiterjedésű nedves felszínek párolgása között: a területi párolgás a nagyobb felszínek összegzett vízvesztését jelenti (Szilágyi és társai 2025), a nedves környezet párolgása a vizes élőhelyekről és vegetált nedves felületekről történő párolgást (Mohamed és társai 2012), míg a kis kiterjedésű felületek párolgása lokális talaj- vagy vízcepspszintű folyamatokból származik (Wang és társai 2012); mindhárom típus eltérő aerodinamikai és energiamérleg-feltételek mellett zajlik, és másként járul hozzá a vízvesztéshez.

A párolgás közvetlen mérése ugyanakkor jelentős módszertani és gyakorlati korlátokba ütközik. A klasszikus mérési technikák – mint a Bowen-hányados módszer, az örvénykovariancia (eddy covariance), a párolgási kádak és a liziméterek – eltérő tér- és időskálán szolgáltatnak adatokat, miközben érzékenyek a környezeti feltételekre és a műszeres bizonytalanságokra (Twine és társai 2000, Wilson és társai 2002). A megállapítást tovább erősíti egy 2007-es vizsgálat, amelyben több párolgásbecslési módszer teljesítményét hasonlították össze egy kis hegyi tó esetén. A kutatás kimutatta, hogy bizonyos fizikai alapú módszerek (például Priestley-Taylor és Penman) átlagosan jó egyezést adnak a Bowen-hányados energiaegyensúlyi módszerrel, míg más formulák szisztematikus torzításokat mutattak, ami a különböző mérési megközelítések eltérő jellemzőit tükrözi (Rosenberry és társai 2004, Rosenberry és társai 2007). Mindezek mellett a Magyarországon rendelkezésre álló párolgási adatok térbeli és időbeli lefedettsége gyakran hiányos, különösen hosszú időtávra vonatkozó időszakok esetében.

E korlátok indokolják a párolgás becslésének széles körű alkalmazását. A meteorológiai adatokon alapuló empirikus és félempirikus módszerek lehetővé teszik a párolgás hosszú idősorainak rekonstrukcióját olyan területeken is, ahol közvetlen mérések nem vagy csak korlátozottan állnak rendelkezésre. A becslések nem a mérések kiváltását célozzák, hanem azok térbeli és időbeli kiterjesztését, illetve a hidrológiai modellezéshez szükséges konzisztens adatbázisok előállítását szolgálják.

A Tisza magyarországi szakaszára vonatkozó egységes, hosszú távú párolgásbecslések jelenleg hiányoznak. Bár a folyóra rendelkezésre állnak különböző hidrológiai vizsgálatok, például a felszíni vízhőmérséklet mérései és egyéb vízhozam- vagy vízminőségi eredmények, a párolgás kvantitatív becslésére irányuló hosszú idősoros elemzések eddig nem készültek. Egy kutatás például a folyószabályozás után kialakult holtágak (oxbow lakes) vizének stabilizotóp arányait vizsgálta a párolgás és a vízutánpótlás hatására (Babka és társai 2018).

A meteorológiai adatbázisok, mint például a Copernicus Climate Data Store vagy a HungaroMet homogenizált rácsponti adatbázisai egyre szélesebb körben biztosítanak evapotranszspirációs és sugárzási adatokat. Ugyanakkor ezek az adatok gyakran modellalapú becslések, amelyek térbeli felbontása és módszertani háttere eltérő lehet, így közvetlen alkalmazásuk bizonytalanságot hordozhat a folyóspecifikus párolgásvizsgálatokban. Különösen nyílt vízfelületek esetében jelentkezik ez a korlát, ahol a párolgást befolyásoló lokális hidrológiai és klimatikus folyamatok (felszíni vízhőmérséklet, advekciónak, parti hatások) jelentős szerepet játszanak.

E tanulmány célja a Tisza teljes magyarországi szakaszán 2001 és 2023 között a tényleges párolgás különböző párolgásbecslési formulákkal történő meghatározása, azokon monitoringállomásokon, ahol megfelelő minőségű és hosszúságú idősor állt rendelkezésre a vizsgálatok lefolytatásához. A vizsgálat célja az éves, szezonális és havi tényleges párolgási trendek és térbeli, időbeli mintázatok feltárása, valamint az egyes modellek összehasonlítása. A tanulmány bemutatja az alkalmazott adatokat és módszereket, részletesen elemzi az eredményeket, majd összegzi a legfontosabb következtetéseket és a további kutatási irányokat.

MÓDSZERTAN

Ebben a fejezetben ismertetésre kerülnek a vizsgálat során felhasznált vízrajzi és meteorológiai adatok, valamint az alkalmazott modellezési eljárás módszertani háttere. A fejezet összefoglalja továbbá a Tisza kiválasztott állomásaira vonatkozó számítások során alkalmazott összefüggéseket. A továbbiakban a vizsgálat során a párolgás (E) alatt a Tisza tényleges párolgását értjük. A párolgási értékeket a Makkink-, Penman–Monteith- és De Bruin–Keijman-modellek alkalmazásával határoztuk meg, amelyek nyílt vízfelületre történő alkalmazása esetén a tényleges párolgás jó közelítésének tekinthető, mert a párolgást nem korlátozza vízhiány; a referencia- és potenciális párolgást becslő modellek által szolgáltatott értékeket a tényleges párolgás jó közelítésének tekinthetjük.

1. táblázat. A párolgási és evapotranszpirációs folyamatok főbb fogalmainak összehasonlítása
Table 1. Comparison of the main concepts of evaporation and evapotranspiration processes

Fogalom	Meghatározás	Fizikai alap	Alkalmazási terület
Evaporáció	Folyékony víz közvetlen párolgása szabad vízfelszínről vagy nedves felszínről a légkörbe	Sugárzási energiamérleg + turbulens (aerodinamikai) hő- és anyagcsere	Tavak, folyók, talajfelszín
Transzspiráció	Növények vízleadása a sztomákon keresztül, a gyökér–növény–légkör rendszer részeként	Biológiai szabályozás + diffúzió + energiamérleg	Vegetáció, mezőgazdaság
Evapotranszspiráció	Az evaporáció és transzspiráció együttes vízvesztése a felszín–légkör rendszerben	Kombinált energiamérleg és tömegáram (sugárzási + aerodinamikai + biológiai komponensek)	Vízmérleg, hidrológia, mezőgazdaság
Potenciális Evapotranszspiráció	A maximálisan lehetséges evapotranszspiráció vízhiánytól mentes, ideális (korlátlan vízellátottságú) körülmények között	Meteorológiai kényszerek által meghatározott (sugárzás, hőmérséklet, szél, páratartalom)	Előrejelzés, modellezés
Referencia Evapotranszspiráció	Homogén növényborítású (pl. fű) felszín evapotranszspirációja adott meteorológiai feltételek mellett	Penman–Monteith- egyenlet (FAO56)	Összehasonlítás, növényi vízigény becslés

Adatok és tanulmányi terület

A Tisza teljes magyarországi szakaszára vonatkozóan napi léptékű felszíni vízhőmérséklet- és vízállás-idősorok álltak rendelkezésre, amelyeket a vízügyi igazgatóságok szolgáltatottak 2001-ig visszamenőleg. A vizsgálatot emellett hosszú idősorú, homogenizált, napi felbontású meteorológiai adatok támogatták, amelyek alapot biztosítottak a számítások során alkalmazott levegő–víz határfelületi hőcsere-folyamatok jellemzéséhez. A hidrometeorológiai változókat az Országos Meteorológiai Szolgálat (HungaroMet Zrt.) biztosította, homogenizált, 0,1° térbeli felbontású rácsponthoz adatbázis formájában. Az alábbi adatok kerültek felhasználásra: átlagos léghőmérséklet, szélsőbesség, relatív páratartalom, globálisugárzás, légnyomás. A párolgás becslése a Tisza mintegy 571 km hosszú magyarországi szakaszán, összesen 11 mérő-

állomás adatai alapján történt, a vízfelszín-párolgás térbeli mintázatának átfogó jellemzése érdekében. Az egyes mérőállomásokhoz tartozó folyókilométereket a 2. táblázat, míg az állomások térbeli elhelyezkedését az 1. ábra szemlélteti.

A felhasznált meteorológiai idősorok hiánytalanok voltak, míg a hidrológiai idősorok közül a felszíni vízhőmérsékleti adatok voltak egy-egy állomás esetében hiányosak. Ezt a hiányt lineáris interpoláció segítségével póltuk. Az összes számítás napi léptékben történt, a párolgási modellekből havi, szezonális és éves aggregátumok készültek, amelyekre trendanalízist alkalmaztunk, a hosszú távú változások feltárása érdekében. A számítások Python programozási környezetben készültek, ezzel biztosítva az egységességet és az átláthatóságot.

2. táblázat. A párolgásbecsléshez felhasznált vízrajzi állomások és folyókilométerük a Tisza folyó mentén
Table 2. Hydrological stations used for evaporation estimation and their river kilometres along the Tisza River

Mérőállomás neve	Folyókilométer
Tiszabecs	744,3
Vásárosnamény	684,45
Tokaj	543,08
Tiszaalkony	518,1
Tiszadob	500,2
Tiszapalkonya	484,7
Tiszafüred	430,5
Kisköre_alsó	403,1
Szolnok	334,6
Csongrád	246,2
Szeged	173,6



1. ábra. A Tisza magyarországi szakaszán vizsgált párolgásbecslési mérőállomások
Figure 1. Evaporation estimation measuring stations examined on the Hungarian section of the Tisza River

Alkalmazott párolgásbecslő modellek és hőcsere komponensek

A Tisza magyarországi szakaszán a vízfelszín evaporációjának becslésére a De Bruin–Keijman-, a Makkink- és a Penman–Monteith-modelleket alkalmaztuk. Ezek a modellek különböző hőcsere-komponenseket vesznek figyelembe, ezáltal lehetővé teszik a vízfelszín párolgásának részletes jellemzését.

A De Bruin–Keijman-modell a Penman–Monteith formula egyszerűsített, energiamérleg alapú, de sztochasztikus tényezőket nem tartalmazó változata, amely integrálja a radiáció és advekcio hatását (De Bruin és Keijman 1984):

$$E_{DBK} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n - G}{\lambda} \quad (1)$$

ahol Δ a telítési vízgőznyomás görbéjének meredeksége $[\frac{kPa}{^\circ C}]$, γ a pszichrometrikus állandó $[\frac{kPa}{^\circ C}]$, R_n a nettó sugárzás a vízfelszínen $[\frac{MJ}{m^2 nap}]$, G a vízfelszín sugárzása $[\frac{MJ}{m^2 nap}]$ és λ a víz párolgáshője $[\frac{MJ}{kg}]$.

A Makkink-modell egy empirikus, radiáció-alapú módszer, amely elsősorban a felszíni sugárzás hatását veszi figyelembe (Makkink 1957):

$$E_M = \frac{0,65 \Delta R_s}{(\Delta + \gamma) \lambda} \quad (2)$$

ahol R_s a globálisugárzás $[\frac{MJ}{m^2 nap}]$.

A Penman–Monteith-modell a legszélesebb körben alkalmazott fizikai alapú formula, amely a radiációs és aerodinamikai komponenseket figyelembe veszi (Penman 1948) és a referencia evapotranspiráció (ET_0) standard meghatározására szolgál (Allen és társai 1998):

$$E_{PM} = \frac{\frac{\Delta R_n - G}{\lambda} + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (3)$$

ahol T_a a levegő átlaghőmérséklete $[^\circ C]$, u_2 a szélesebség 2 m magasságban mérve $[\frac{m}{s}]$, $e_s - e_a$ a telítési és az aktuális vízgőznyomás különbsége $[kPa]$.

Az imént bemutatott párolgásbecslő modellek a léghőmérséklet és a különböző hőfluxusok függvényei, ezért következő lépésként célszerű a hőcsere komponenseket elemezni. A nettó sugárzást (R_n) a beérkező és kilépő rövid- és hosszuhullámú sugárzások alapján számítottuk, az energiakiigyeenlítés egyik alapvető elemét képezve

$$R_n = R_s (1 - \alpha) + R_{nl}^{\uparrow} - R_{nl}^{\downarrow} \quad (4)$$

ahol α a vízfelszín albedója ($\alpha \approx 0,1$), $R_{nl}^{\uparrow}$ a beérkező hosszuhullámú sugárzás, míg $R_{nl}^{\downarrow}$ a kilépő hosszuhullámú sugárzás; a beérkező hosszuhullámú sugárzást az alábbi képlettel határoztuk meg (Holtslag és van Ulden 1983):

$$R_{nl}^{\uparrow} = c_1 (T_a + 273)^6 + c_2 N \quad (5)$$

ahol $c_1 = 4,59 \cdot 10^{-14} \frac{MJ}{m^2 nap K^6}$ egy empirikus állandó, míg $c_2 = 5,184 \frac{MJ}{m^2 nap}$ olyan konstans, amely a közepes

földrajzi szélességekre jellemző sugárzási viszonyokra vonatkozik. N a felhőborítottságot jelöli, amely a tényleges globálisugárzás (R_s) és a derült égbolt esetén várható globálisugárzás (R_{s0}) arányából határozható meg az alábbi összefüggés alapján:

$$N = 1 - \frac{R_s}{R_{s0}} \quad (6)$$

A kilépő hosszuhullámú sugárzást a Stefan-Boltzmann törvény alapján számoltuk:

$$R_{nl}^{\downarrow} = \epsilon_w \sigma (T_w + 273)^4 \quad (7)$$

ahol $\sigma = 4,9 \cdot 10^{-9} \frac{MJ}{m^2 K^4 nap}$ a Stefan-Boltzmann-állandó, ϵ_w a vízfelszín emisszivitása ($\epsilon_w \approx 0,98$), T_w pedig a vízfelszín hőmérséklete $[^\circ C]$.

A vizsgálat során a vízfelszín albedója és a vízfelszín emisszivitása esetében használtunk irodalmi értékeket, minden más mennyiséget explicit módon számoltunk. A párolgásbecslő modellekben és az energiamérleg számításában szereplő, a főszövegben nem részletezett fizikai mennyiségek meghatározásának részletes leírása az Appendixben található. Az ott bemutatott levezetéseket egyenesen alkalmaztuk a teljes időszakra minden állomás esetében. A víz és a levegő fajhőjét sem kezeltük állandó paraméterként. Mindkét esetben hőmérsékletfüggő, Python környezetbe illesztett empirikus formulákat alkalmaztunk a levegő esetén -20 és 40 $^\circ C$ közötti, míg a víz esetében $0-100$ $^\circ C$ közötti hőmérsékleti tartományban, amelyek lehetővé tették a hőcsere-folyamatok pontosabb leírását a vizsgálati időszak teljes hosszában.

Statistikai mutatók

A modellek közötti napi értékek kapcsolatát minden tiszai mérőállomáson az R^2 (négyzetes hiba), RMSE (négyzetes középérték hiba) és MAE (átlagos abszolút hiba) mutatók alapján vizsgáltuk.

A négyzetes hiba vagy determinációs együttható:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (8)$$

ahol y_i a referencia modell, $\hat{y}_i$ az összehasonlított modell értékei, míg $\bar{y}$ az y_i átlagát jelenti. Az együttható megmutatja, hogy az összehasonlított modell milyen mértékben képes reprodukálni a párolgás variabilitását a referencia modellhez képest.

A négyzetes középérték hiba:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (9)$$

megmutatja, hogy mekkora az átlagos eltérés a két modell között.

Az átlagos abszolút hiba:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (10)$$

megmutatja, hogy átlagosan mekkora az eltérés a két idősor között.

EREDMÉNYEK

Napi bontású idősorok

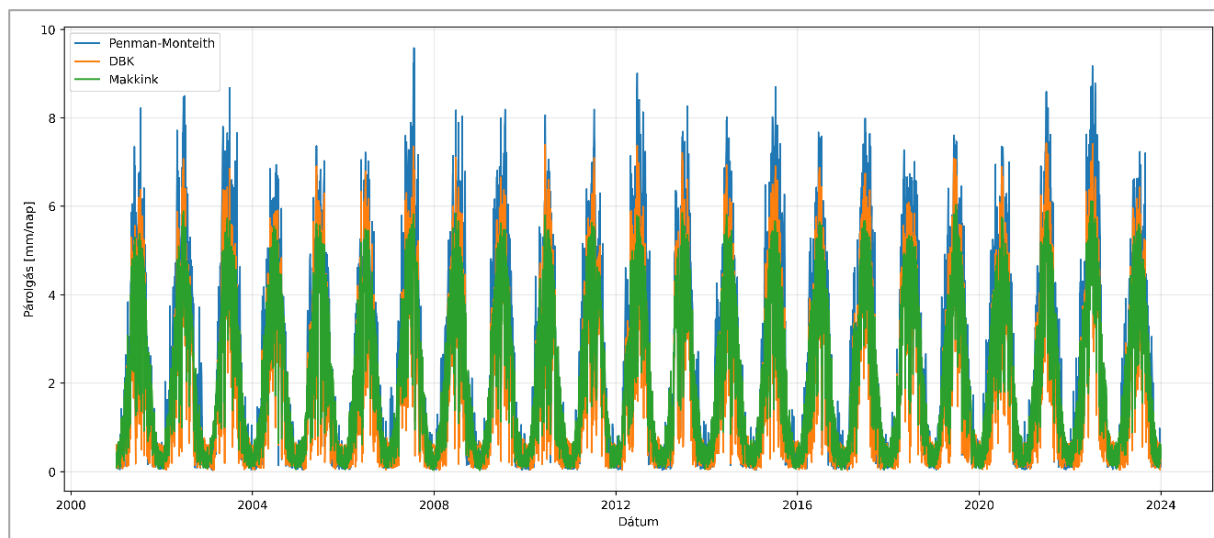
A napi párolgási idősorokat, kumulatív görbéket és a modellek közötti korrelációkat az összes tiszai mérőállomás adatainak felhasználásával, aggregált formában ábrázoltuk.

A napi párolgási idősorok (2. ábra) minden mérőállomáson erős szezonális ciklikusságot mutattak, a nyári maximumok 7–10 mm/nap között, a téli minimumok pedig gyakran nulla közelében mozogtak. A Penman–Monteith modell következetesen a legmagasabb napi párolgási értékeket adta, ezt a Makkink-modell követte, míg a DBK-modell a legalacsonyabb értékeket produkálta. A modellek közötti különbségek a Tisza középső szakaszán mutatták a legnagyobb napi amplitúdókat.

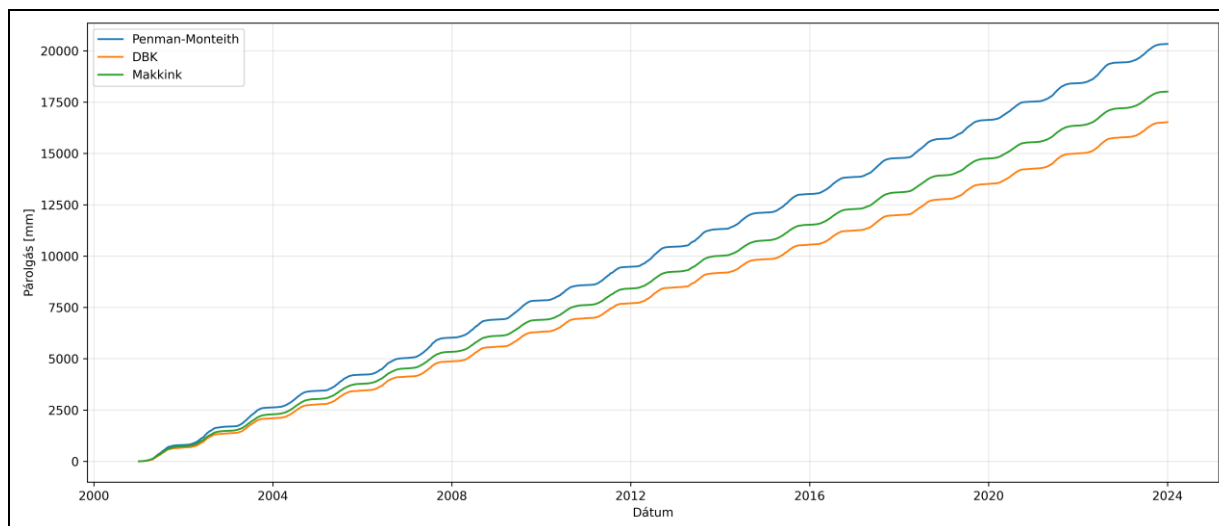
A teljes időszak kumulatív párolgása (3. ábra) az összes állomáson hasonló rangsort mutatott: a Penman–Monteith-modell kumulatív párolgása adta a legmagasabb értékeket (19 200–22 200 mm/23 év), ezt követte a Makkink-modell (17 400–18 900 mm/23 év), míg a DBK-modell kumulatív értékei valamivel alacsonyabbak maradtak (15 900–17 400 mm/23 év).

Az éves kumulatív párolgási értékek ennek megfelelően átlagosan a Penman–Monteith-modell esetén 835–963 mm/év, a Makkink-modell esetén 756–817 mm/év, míg a DBK-modell esetén 693–752 mm/év tartományba estek. A görbék meredeksége minden állomáson a nyári időszakokban volt a legnagyobb; a felső szakaszon (Tiszabecs, Vásárosnamény) meredekebb, míg az alsó szakaszon (Szolnok, Csongrád, Szeged) enyhébb emelkedést mutatott.

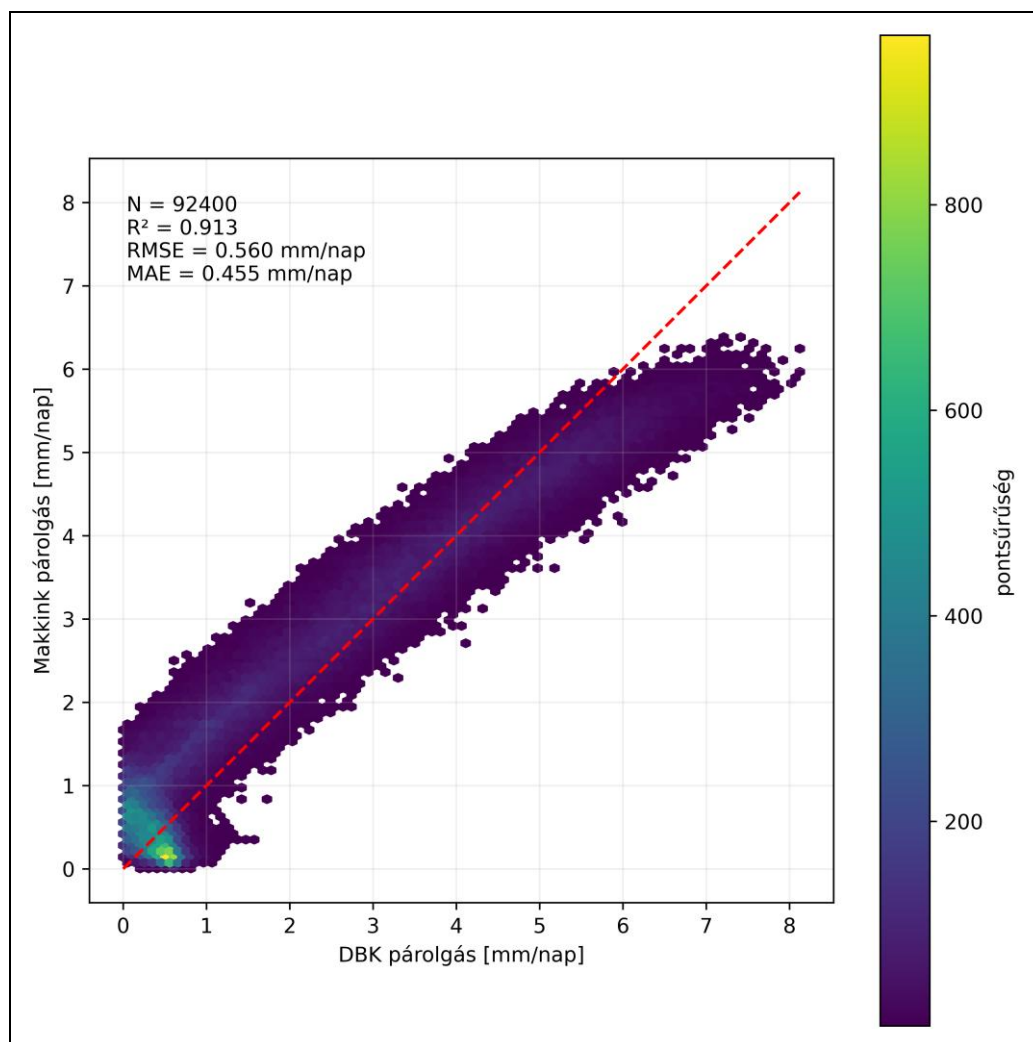
Mind a 11 állomás adatai alapján a különböző modellpárok közötti determinációs együtthatók jól elkülönülő tartományokba estek. A Makkink- és DBK-modellek összehasonlítása mutatta a legerősebb egyezést, R^2 értékei 0,898 és 0,930 között alakultak (4. ábra). Hasonlóan erős korreláció volt megfigyelhető a DBK–Penman–Monteith párosítás esetében, ahol az R^2 értékek a 0,846–0,938 tartományban mozogtak (5. ábra). Ezzel szemben a Penman–Monteith–Makkink-modellpár valamivel gyengébb egyezést mutatott, az R^2 értékek 0,838–0,908 között alakultak, különösen a középső és alsó szakaszon jelentkező nagyobb szórás mellett (6. ábra). Az RMSE- és MAE-mutatók alapján a modellek közötti eltérések mértéke viszonylag alacsony tartományban maradt, ugyanakkor jól kirajzolódnak a térbeli különbségek. A Penman–Monteith–DBK-modellek esetében az RMSE értékei 0,54–0,92 mm/nap, míg az MAE 0,41–0,73 mm/nap között változott, a legkisebb hibák a felső szakaszon (Tiszabecs), a legnagyobbak az alsó szakaszon (Szeged) jelentkeztek. Hasonló mintázat figyelhető meg a Penman–Monteith–Makkink-modellek összehasonlításánál is (RMSE: 0,66–0,95 mm/nap; MAE: 0,49–0,65 mm/nap), ahol szintén a szegedi állomásnál adódtak a legnagyobb eltérések. A DBK–Makkink-modellek közötti különbségek kisebb amplitúdójúak voltak (RMSE: 0,51–0,60 mm/nap; MAE: 0,41–0,49 mm/nap), ami a két modell közötti szorosabb egyezésre utal. Összességében a szórásdiagramok minden állomáson egyértelmű lineáris tendenciát mutattak, és a legerősebb korrelációt adó modellpárok esetében a regressziós egyenesek az 1:1 vonal közvetlen közelében helyezkedtek el, ami a modellek közötti jó egyezést jelzi; ugyanakkor az eredmények azt is mutatják, hogy a modellek közötti eltérések mértéke a folyó mentén növekvő tendenciát mutat, különösen az alsóbb szakaszokon.



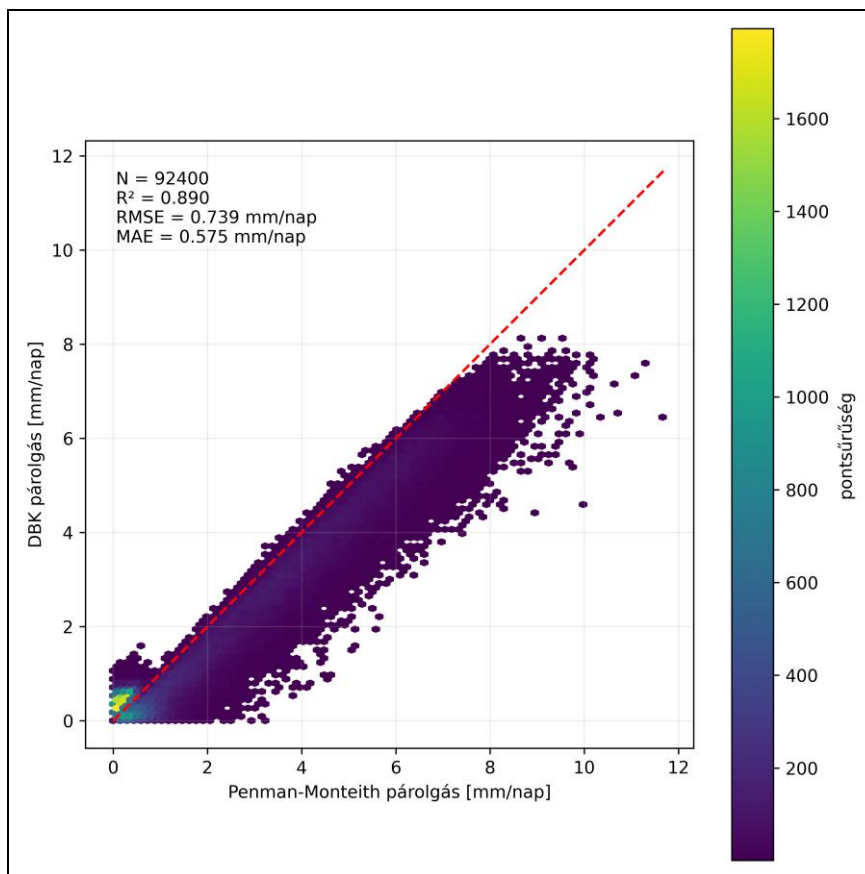
2. ábra. A tiszai mérőállomások átlagolt párolgási idősorainak grafikonja
Figure 2. A graph of the averaged time series data from the Tisza monitoring stations



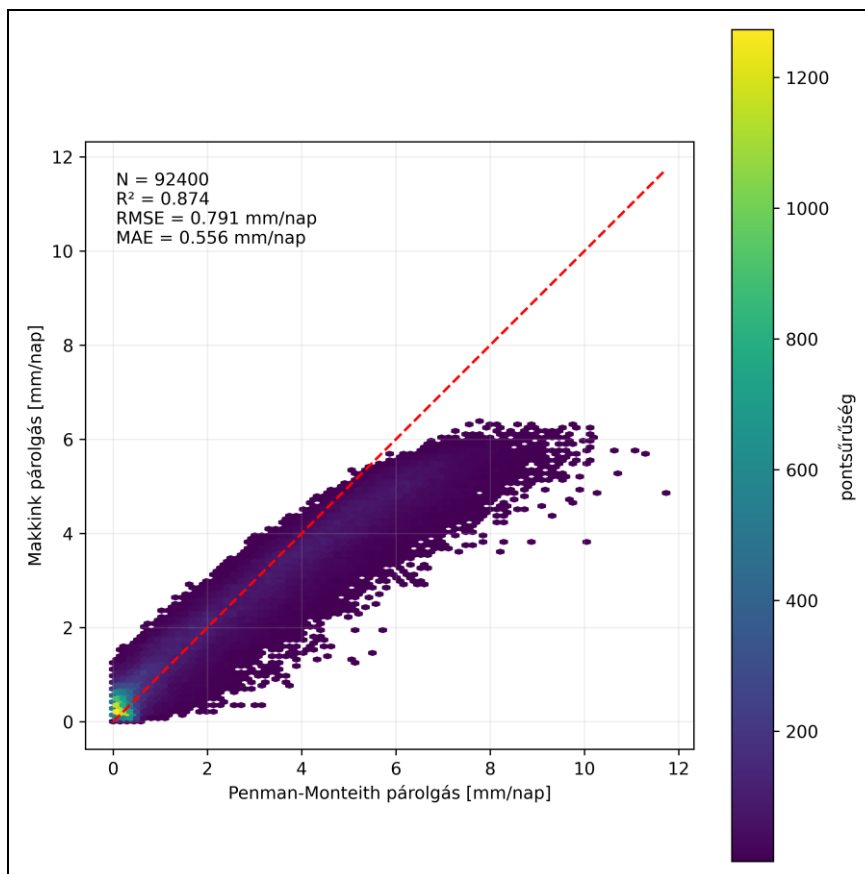
3. ábra. A tiszai mérőállomások átlagolt kumulatív görbéje
Figure 3. The averaged cumulative curve of the Tisza monitoring stations



4. ábra. A Makkink- és De Bruin-Keijman-féle párolgásbecslések összehasonlítását szemléltető összesítő szórásdiagram
Figure 4. A summary scatter plot illustrating a comparison of evaporation estimates by Makkink- and De Bruin-Keijman



5. ábra. A De Bruin-Keijman- és Penman-Monteith-féle párolgásbecslések összehasonlítását szemléltető összesítő szórási diagram
 Figure 5. A summary scatter plot illustrating a comparison of evaporation estimates by De Bruin-Keijman- and Penman-Monteith



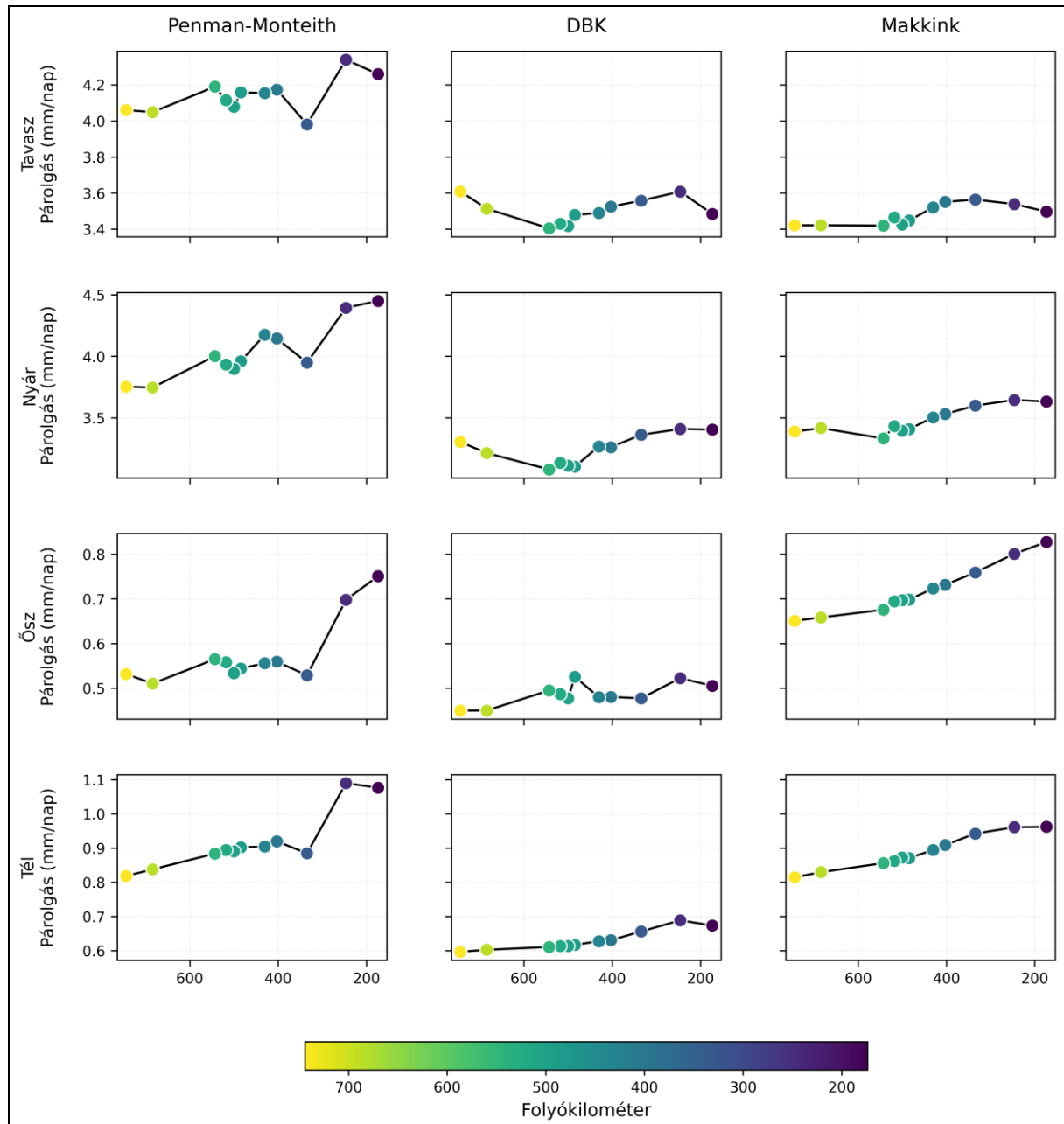
6. ábra. A Makink- és Penman-Monteith-féle párolgásbecslések összehasonlítását szemléltető összesítő szórási diagram
 Figure 6 A summary scatter plot illustrating a comparison of evaporation estimates by Makink- and Penman-Monteith

Szezonális mintázatok

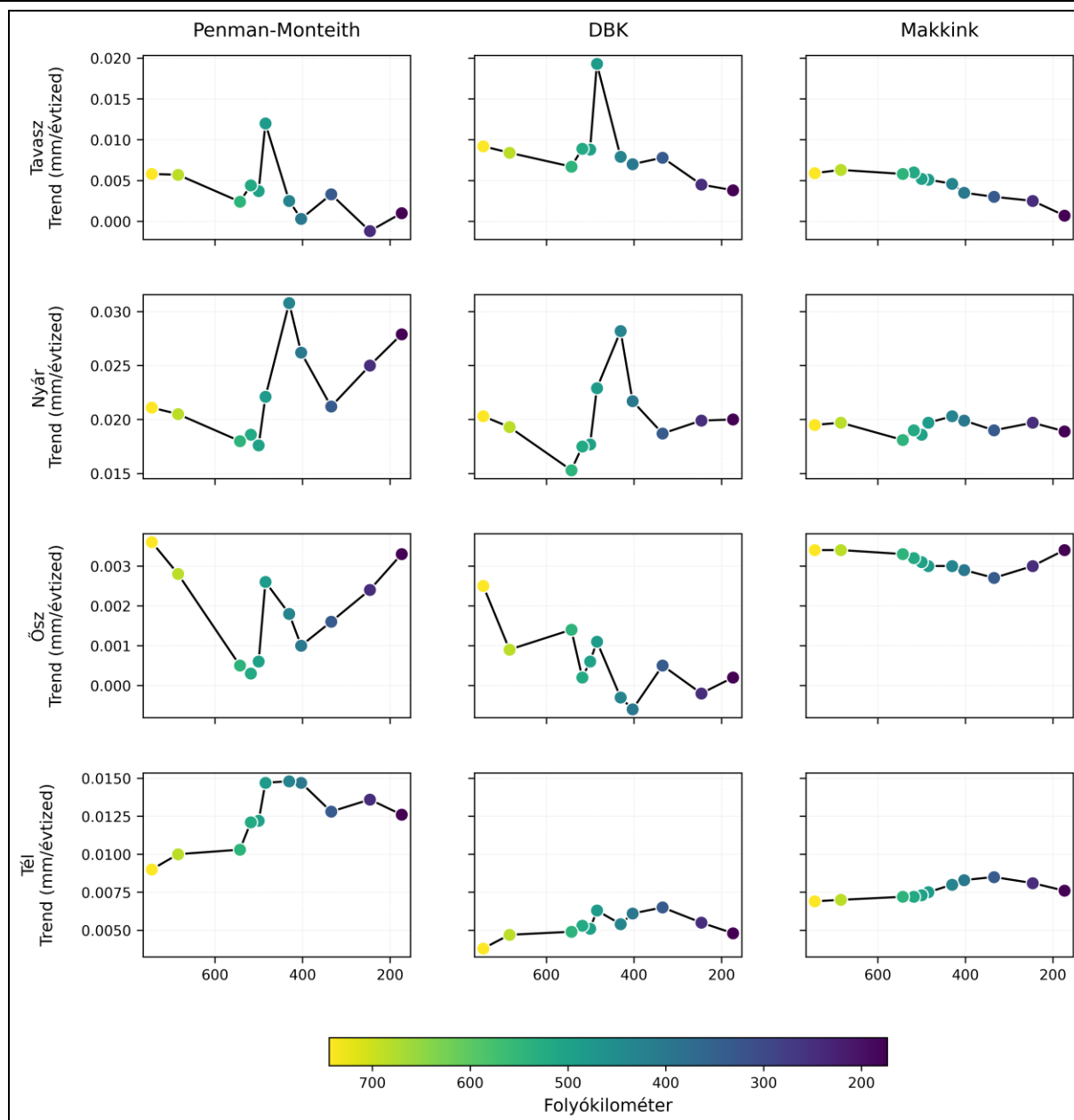
A párolgás szezonális viselkedését az évszakos aggregátumok alapján vizsgáltuk a 23 éves idősorok felhasználásával mind a 11 tiszai mérőállomáson. A teljes mérőhálózat szezonális grafikus átlageredményeit a 7. ábra, míg a szezonális trendeket a 8. ábra tartalmazza. Ezek a grafikonok lehetővé teszik a párolgásbecslő modellek térbeli mintázatainak összehasonlítását és feltárását.

A 7. ábra szerint a nyári időszakban figyelhetők meg a legmagasabb párolgási értékek. A Penman-Monteith-modell 3,7–4,5 mm/nap közötti mennyiségeket eredményezett, míg a DBK-modell 3,2–3,7 mm/nap, a

Makkink-modell pedig 3,3–3,7 mm/nap értékeket mutatott. A tavaszi időszak átlagai valamivel alacsonyabbak voltak (Penman-Monteith: 3,7–4,5 mm/nap, DBK: 3,1–3,5 mm/nap, Makkink: 3,3–3,7 mm/nap). Az őszi és téli szezonban már jelentősen mérsékeltebb értékek jellemzőek: ősszel 0,5–0,8 mm/nap, télen 0,6–1,1 mm/nap között mozogtak az értékek a különböző modellek szerint. A folyásirány mentén (kb. 700–200 folyókilométer) a Penman-Monteith-modell nyári és tavaszi értékei enyhén növekvő tendenciát mutatnak a felső szakaszon, majd viszonylag stabilak maradnak. A DBK- és Makkink-modellek értékei a teljes szakaszon inkább stabilak vagy csak enyhén változóak.



7. ábra. Szezonális átlagos párolgás a Tisza 11 állomásán a modellek szerint
Figure 7. Seasonal average evaporation at 11 stations on the Tisza River according to three models



8. ábra. Szezonális párolgási trendek a Tisza 11 állomásán a modellek szerint
 Figure 8. Seasonal evaporation trends at 11 stations on the Tisza River according to three models

A 8. ábra alapján a nyári időszakban jelentkeznek a legerősebb pozitív trendek. A Penman-Monteith-moddell trendjei 0,00–0,012 mm/évtized között mozognak (helyenként 0,012 mm/évtized fölött), a DBK-moddellnél egy markáns csúcs látható (~0,019 mm/évtized), míg a Makkink-moddell trendjei enyhén emelkedők (0,00–0,006 mm/évtized). A tavaszi szezonban a trendek változatosabbak, a Penman-Monteith-moddellnél erősebb pozitív értékek (akár 0,03 mm/évtized) figyelhetők meg lokálisan. Az őszi időszakban általában gyenge pozitív trendek dominálnak (0,000–0,0035 mm/évtized), a téli szezonban pedig a legtöbb helyen gyenge pozitív vagy közel nulla trendek jellemzők (0,004–0,015 mm/évtized), enyhe csökkenéssel a szakasz vége felé.

A trendek a folyószakasz mentén nem egyenletesek; különösen a Penman-Monteith-moddellnél a középső szakaszon (kb. 400–550 folyókilométer) erősebb pozitív változások láthatók több szezonban is.

Fontos hangsúlyozni, hogy a bemutatott trendek leíró jellegűek, és a jelen vizsgálatban nem történt statisztikai szignifikanciaelemzés (pl. Mann–Kendall-teszt alkalmazásával). Ennek megfelelően az eredmények a változások irányát és relatív mértékét jelzik, de nem tesznek lehetővé következtetést azok statisztikai megbízhatóságára vonatkozóan.

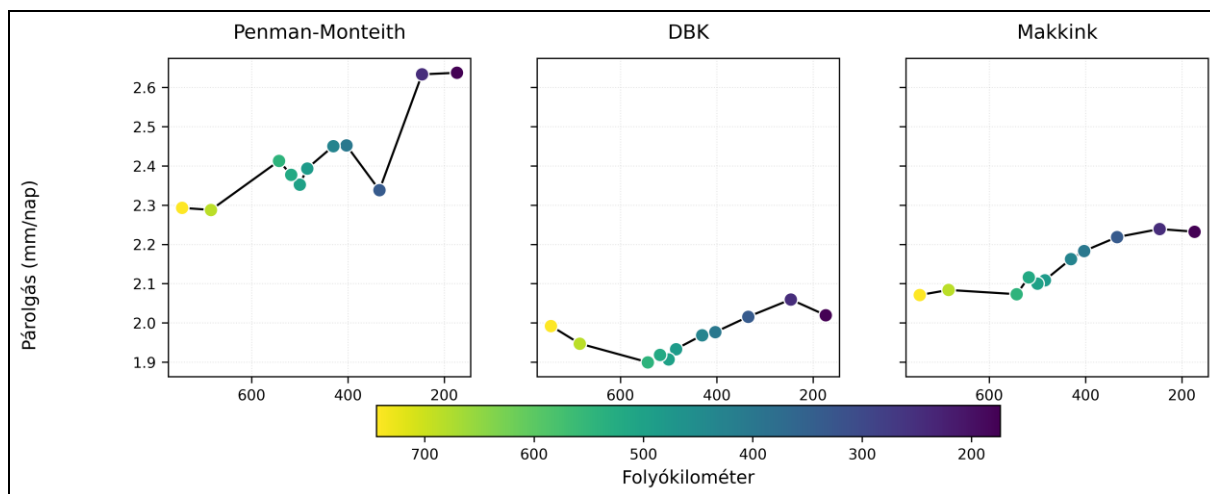
Éves mintázatok

A vizsgált állomások éves párolgási értékei a 9. és 10. ábrán láthatók. Az ábrák az egyes állomások éves párolgási adatait mutatják évenkénti bontásban. Az adatok lehetővé teszik a trendek és a változékonyság vizuális áttekinthetőségét az egyes évek és térségek között.

A 9. ábra szerint az éves átlagos párolgási értékek a Penman-Monteith-moddellnél a legmagasabbak (2,29–2,65 mm/nap között), enyhe emelkedő tendenciával a folyásirány mentén (a felső szakasz felől az alsó felé). A

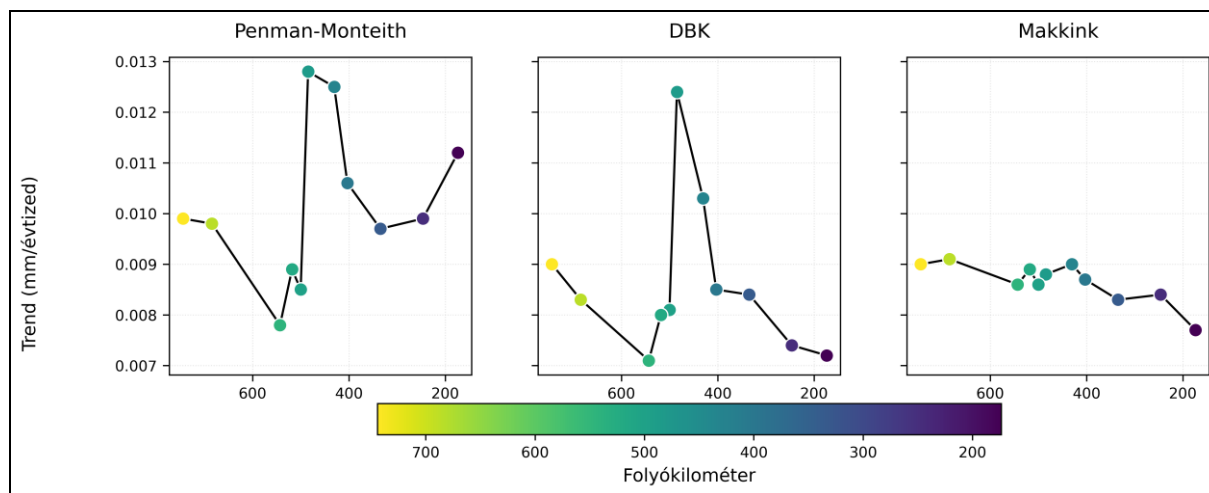
Makkink-modell értékei 2,07–2,24 mm/nap között mozogtak, szintén enyhe emelkedéssel az alsó szakaszon. A DBK-modell jelentősen alacsonyabb értékeket mutatott (1,89–2,06 mm/nap), enyhe csökkenő tendenciával a felső szakaszon, majd enyhe emelkedéssel a középső-alsó ré-

szen. A modellek közötti különbségek a folyókilométerek mentén (kb. 700–200 km) nagyságrendileg állandók maradtak, a Penman-Monteith-értékek átlagosan 0,3–0,6 mm/nappal magasabbak a DBK- és Makkink-modellek értékeinél.



9. ábra. Éves átlagos párolgás a Tisza 11 állomásán a modellek szerint

Figure 9. Annual average evaporation at 11 stations on the Tisza River according to three models



10. ábra. Éves párolgási trendek a Tisza 11 állomásán a modellek szerint

Figure 10. Annual evaporation trends at 11 stations on the Tisza River according to three models

A 10. ábra szerint az éves trendek a Penman-Monteith-modellnél 0,0075–0,0128 mm/évtized között változtak, a legmagasabb pozitív értékek a középső szakaszon (kb. 350–450 folyókilométer) jelentkeztek. A DBK-modell trendjei hasonló nagyságrendűek voltak (0,007–0,0125 mm/évtized), egy nagyon markáns csúccsal a középső szakaszon (kb. 0,0125 mm/évtized). A Makkink-modell mutatta a legkisebb és legstabilabb trendeket (0,0077–0,0091 mm/évtized között), enyhe csökkenéssel a felső szakasz felé. A trendek egyik modellnél sem voltak teljesen egyenletesek a teljes szakaszon; különösen a középső szakaszon (400–550 km körül) figyelhetők meg lokális maximumok, míg a legfelső és legalsó szakaszokon általában mérsékelt vagy enyhén csökkenő értékek láthatók.

DISZKUSSZIÓ

A Tisza folyón végzett párolgásbecslési modellek kulcs-eredményei egyértelmű különbségeket mutatnak, melye-

ket a 3. táblázat összefoglaló jelleggel tartalmaz. A Penman-Monteith-modell éves kumulatív értékei a legmagasabbak (835–963 mm/év), a Makkink-modellé közepes (756–817 mm/év), míg a DBK-modellé a legalacsonyabbak (693–752 mm/év). A folyó hossza mentén az éves párolgási átlagok értékei a Penman-Monteith-modellben enyhe emelkedő tendenciát mutatnak a felső szakasztól az alsó felé, míg a Makkink- és DBK-modellek stabilabb értékeket eredményeznek minimális változékonysággal. A szezonális trendek a Penman-Monteith-modell esetében a Tisza folyó mentén térben kisebb változékonyságot mutatnak, míg a többi modell hasonlóan alacsony térbeli változékonyságot jelez. Nyáron minden modell kiemelkedő növekedést jelez, ezzel szemben a többi évszakban a párolgási trendje változó előjelű, ami összhangban van a közép-európai vizsgálatok eredményeivel (Mozny és társai 2020). A Tisza folyó mentén becsült éves párolgási trendek minden alkalmazott modellben következetesen növekvő irányt jeleznek valamennyi vizsgált állomáson.

A modellek közötti szisztematikus eltérések elsősorban a figyelembe vett fizikai folyamatok különbözőségéből vezethetők le. A Penman–Monteith-modell tartalmazza mind a radiációs, mind az aerodinamikai komponens, így érzékeny a szélsőbességre és a levegő párányomás-deficitjére ($e_s - e_a$). Ez különösen fontos folyók esetében, ahol az advekcio és a turbulens hőcsere jelentős szerepet játszik. Ezzel szemben a Makkink-modell kizárólag a sugárzási tagra épül, így nem veszi figyelembe az aerodinamikai hatásokat, ami stabilabb, de alacsonyabb variabilitású becsléseket eredményez. A De Bruin–Keijman-modell ugyan energiamérleg-alapú, azonban az aerodinamikai komponens explicit hiánya miatt hajlamos a párolgás alulbecslésére nyílt vízfelszíneken. A különbségek nagyságát tovább növeli a modellek eltérő érzékenysége a bemeneti változók bizonytalanságára. A szélsőbesség és a relatív páratartalom hibái elsősorban a Penman–Monteith-modellben jelennek meg erőteljesebben, míg a sugárzási adatok bizonytalansága a Makkink- és DBK-modellekben domináns. Ez magyarázza, hogy a modellek közötti eltérések a folyó alsó szakaszán, ahol a mikroklimatikus hatások erősebbek, növekednek.

A bemutatott eredmények eltérnek számos nemzetközi vizsgálat megállapításaitól, így például a Jangce vízgyűjtőjében kimutatott csökkenő párolgási trendektől (Wang és társai 2007, Wang és társai 2011), azonban egyezést mutatnak a közép-európai megfigyelések egy részével, amelyek szignifikáns növekedést mutatnak az elmúlt évtizedekben (Croitoru és társai 2013, Možný és társai 2020, Bartczak és társai 2024). A modellek közötti legerősebb korrelációt a Makkink–DBK-páros mutatja ($R^2 = 0,913$), közel 1:1 regressziós egyenesekkel, míg a Penman–Monteith–Makkink- és Penman–Monteith–DBK-párosok szintén erős egyezést mutatnak ($R^2 = 0,838$ – $0,908$, $R^2 = 0,846$ – $0,938$). Korábbi kutatásokkal összevetve az eredmények összhangban állnak az irodalommal. A DBK-modell gyakran jobban teljesít sekély víztesteken vagy nedves környezetben, mint a komplexebb modellek (Winter és társai 1995), de folyókon ritkábban validálták, és egyes helyeken

túlbecsülheti vagy alulbecsülheti az értéket a hőmérség pontosságától függően, ezzel nagy hibát eredményezve az adott térségben (Wang és társai 2019). A Makkink-modell a Tisza folyóra kiválóan közelíti a Penman–Monteith-egyenlet által számított referencia-evaporációt. A Tisza vízgyűjtőjén a modellek teljesítménye (Penman–Monteith > Makkink > DBK) azt mutatja, hogy a fizikailag teljesebb modellek magasabb értékeket adnak, míg az egyensúlyi modellek konzervatívabb eredményeket produkálnak; ez jól illeszkedik az általános megfigyeléshez, miszerint a modellek teljesítménye erősen függ a bemeneti adatoktól és az éghajlati viszonyoktól (McCabe és társai 2016).

A feltárt eltérések a különböző éghajlati és hidrológiai adottságokra, valamint az alkalmazott módszertanokra vezethetők vissza. Míg a monszunklimájú Jangce-völgyben a csökkenő szélsőbesség és nettó sugárzás dominálja a párolgási folyamatokat (Wang és társai 2011), addig a Kárpát-medencében a növekvő léghőmérséklet és sugárzási terhelés a párolgás növekedését eredményezi.

A vizsgálat korlátai közé tartozik, hogy csak három modellt hasonlítottunk össze, és nem történt közvetlen validálás nyílt vízfelszíni mérésekkel (pl. eddy-kovariancia technikával). Hátrány, hogy a bemeneti adatok térbeli felbontása korlátozott volt, így a parti mikroklima és a mellékfolyók hatása nem kerülhetett teljes mértékben figyelembe vételre. A modellek érzékenysége a szélsőbességre és a hőmérség pontosságára további bizonytalanságot eredményezhet.

Jövőbeli kutatási irányokként javasolt a modellek közvetlen összehasonlítása helyszíni párolgásmérésekkel a Tisza különböző szakaszain, a parti hatások és a mikroklima részletesebb modellezése, valamint további egyszerűsített és hibrid modellek (pl. módosított Priestley–Taylor- vagy távérzékelési alapú módszerek) bevonása a teljes vízgyűjtőre. Emellett hosszú távú klímaváltozási forgatókönyvek szerinti érzékenységvizsgálat is szükséges a párolgástrendek előrejelzéséhez.

3. táblázat. A Tisza menti állomások párolgásának becsült értékei (mm) szabad vízfelszínre vonatkoztatva
Table 3. Estimated values of evaporation (mm) of the Tisza River stations related to free water surface

Állomás	Napi E_{PM} [mm]	Napi E_{DBK} [mm]	Napi E_M [mm]	Éves E_{PM} [mm]	Éves E_{DBK} [mm]	Éves E_M [mm]	Teljes E_{PM} [mm]	Teljes E_{DBK} [mm]	Teljes E_M [mm]
Tiszabecs	2,29	1,99	2,07	837,60	727,68	756,47	19 264,82	16 736,54	17 398,91
Vásárosnamény	2,29	1,95	2,08	835,68	711,25	761,19	19 220,53	16 358,81	17 507,39
Tokaj	2,41	1,90	2,07	881,31	693,90	757,23	20 270,11	15 959,75	17 416,29
Tiszalök	2,38	1,92	2,12	868,40	700,68	772,96	19 973,29	16 115,58	17 778,10
Tiszadob	2,35	1,91	2,10	859,29	696,54	767,04	19 763,55	16 020,52	17 642,01
Tiszapalkonya	2,39	1,93	2,11	874,24	706,15	770,18	20 107,51	16 241,41	17 714,07
Tiszafüred	2,45	1,97	2,16	894,97	719,05	789,99	20 584,20	16 538,04	18 169,69
Kisköre	2,45	1,98	2,18	895,72	721,95	797,39	20 601,65	16 604,85	18 340,05
Szolnok	2,34	2,02	2,22	854,07	736,27	810,37	19 643,69	16 934,31	18 638,48
Csongrád	2,63	2,06	2,24	961,86	752,30	817,89	22 122,82	17 302,84	18 811,45
Szeged	2,64	2,02	2,23	963,34	737,66	815,39	22 156,82	16 966,26	18 753,95

KONKLÚZIÓ

A vizsgálat alapján megállapítható, hogy a Tisza folyó párolgási viselkedésének leírására alkalmazott modellek eltérő szintű komplexitása és adatigénye jelentősen befolyásolja a becslések pontosságát. A különbségek ellenére a modellek közötti kapcsolatok stabilak, ami arra utal, hogy a párolgási folyamatok hosszú időszoron és a folyó teljes szakaszán konzisztensek.

A kutatás egyik fő tanulsága, hogy a párolgásbecslés pontossága és alkalmazhatósága közötti kompromisszum kulcsfontosságú szempont hidrológiai és vízgazdálkodási alkalmazásokban. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a modellek közötti választást alapvetően az elérhető meteorológiai adatok köre és a vizsgálat célja határozza meg: míg az egyszerűbb, alacsony adatigényű módszerek robusztus becslést biztosítanak korlátozott adatkörnyezetben, addig a komplexebb modellek részletesebb fizikai leírást tesznek lehetővé, és elsősorban referencia vagy validációs célokra alkalmazhatók.

A tanulmány hozzájárul a párolgási modellek közötti kapcsolatok jobb megértéséhez, és rávilágít arra, hogy az egyes módszerek alkalmazhatósága nagymértékben függ a vizsgálati környezettől és az elérhető adatoktól. Eredményei elősegítik a megfelelő modell tudatos kiválasztását, ezáltal támogatva a hidrológiai modellezés bizonytalanságainak csökkentését a Kárpát-medencei folyórendszerek esetében.

A jövőbeli kutatások szempontjából indokolt a modellek további validálása közvetlen mérésekkel, valamint a térbeli és időbeli felbontás finomítása. Emellett a mikroklimatikus hatások és a változó éghajlati feltételek bevonása további lehetőséget kínál a párolgási folyamatok pontosabb és általánosíthatóbb leírására.

A vizsgálati eredmények alapján javasolható, hogy a Tisza tényleges párolgásának becslésére, megfelelő meteorológiai adatok rendelkezésre állása esetén, a Penman–Monteith-modell alkalmazása tekinthető elsődleges módszernek, mivel fizikailag a legteljesebb leírást adja. Amennyiben a szükséges bemeneti adatok (különösen a szélsőbesség és a páratartalom) nem állnak rendelkezésre, a Makkink-modell megbízható alternatívát kínál stabil és alacsony hibájú becsléseivel. A De Bruin–Keijman-modell alkalmazása elsősorban összehasonlító vagy érzékenységvizsgálati célokra javasolható, mivel hajlamos a párolgás alulbecslésére nyílt vízfelszínnek esetében.

A MODELLEK ALKALMAZÁSÁHOZ SZÜKSÉGES ÖSSZEFÜGGÉSEK

Ez a fejezet azokat az alapvető és kiegészítő összefüggéseket ismerteti, amelyek a modellek egyes komponenseinek meghatározásához és számításához szükségesek.

Nyomással kapcsolatos összefüggések:

A levegő telített vízgőznyomása azt a maximális parciális nyomást jelenti, amelyet a vízgőz egy adott hőmérsékleten (T_a) kifejt, amikor a levegő telített állapotba kerül. Ennek meghatározására a Magnus–Tetens-féle empirikus összefüggést alkalmaztuk (Tetens 1930):

$$e_s = 0,6108 \cdot e^{\frac{17,27 \cdot T_a}{T_a + 237,3}} \quad (11)$$

A levegő aktuális vízgőznyomása (e_a) a ténylegesen jelen lévő vízgőz parciális nyomását fejezi ki. Ez a mennyiség megmutatja, hogy a vízgőz mekkora nyomást fejtené ki önállóan, amennyiben a levegő többi komponense (például nitrogén és oxigén) nem lenne jelen, miközben a hőmérséklet és a térfogat változatlan marad. Az aktuális vízgőznyomás a relatív páratartalom (RH) és a telített vízgőznyomás szorzataként adható meg:

$$e_a = RH \cdot e_s \quad (12)$$

Párolgással kapcsolatos összefüggések:

A víz állandó nyomáson vett fajhőjét (c_w) szintén empirikus összefüggés alapján határoztuk meg. A képletet saját interpolációs eljárással illesztettük Python-környezetben a *Specific Heat Capacities of Water* adatbázis (URL1) adatai alapján, amely így a hőmérséklet kvadrátikus függését veszi figyelembe:

$$c_w = 4181,3 - 3,8(T_w - 20) + 0,05(T_w - 20)^2 \quad (13)$$

A víz sűrűségét (ρ_w) a hőmérséklet függvényében egy empirikus polinom segítségével határoztuk meg, amely a 0–100 °C közötti tartományban jó közelítést biztosít a valós értékekhez:

$$\rho_w = 999,842594 + 0,06793952T_w - 0,0090529T_w^2 + 0,0001001685T_w^3 - 1,120083T_w^4 + 6,536332 \cdot 10^{-9}T_w^5 \quad (14)$$

A víz párolgáshőjét (λ) lineáris hőmérsékletfüggéssel közelítettük. Az alkalmazott összefüggés Harrison és társai (1963) munkáján alapul, amelyet a FAO 56 ajánlás is tartalmaz (Allen és társai 1998):

$$\lambda = 2501 - 2,361T_w \quad (15)$$

A tiszta égbolt melletti rövidhullámú sugárzás (R_{s0}) a felszín közvetlenül és szórtan érő napsugárzás mennyiségét jelenti felhőtlen légköri viszonyok esetén, figyelembe véve a tengerszint feletti magasságot (z). Allen egy empirikus összefüggést javasolt (Allen 1996), amely a tengerszint feletti legfeljebb 6000 m magasságig alkalmazható, és alacsony légköri zavarosság mellett ad megbízható eredményeket, különösen akkor, ha a Nap horizont feletti magassága megközelítőleg 50°.

$$R_{s0} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5}z)R_a \quad (16)$$

ahol R_a az extraterresztriális sugárzás [$\frac{MJ}{m^2 nap}$], amely a Föld légkörének külső határán, a horizont felett érkező napsugárzási fluxust jelenti:

$$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (17)$$

ahol G_{sc} a napállandó, ami kb. $0,0820 \frac{MJ}{m^2 perc}$, ez az az állandó energia, amit a Nap „küld” nekünk. A Nap Föld távolság változását a d_r korrekciós tényező veszi figyelembe, amely a Föld pályájának elliptikus jellegéből adódóan az év során változó távolság hatását modellezi:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi J}{365}\right) \quad (18)$$

ahol J a Julián-dátum, az év adott napjának sorszáma (1-365/366). Ez a korrekció biztosítja az extraterresztriális sugárzás évszakos változásainak pontosabb leírását.

A napóraszög (ω_s) a Nap horizont feletti látszólagos helyzetét jellemzi, és meghatározza a napsugárzás beesési időtartamát egy adott földrajzi szélességen:

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)] \dots\dots\dots (19)$$

ahol φ a földrajzi szélesség, δ pedig a Nap deklinációja.

A Nap deklinációja (δ) az év során periodikusan változik a Föld tengelyferdesége miatt, és a Nap látszólagos északi–déli elmozdulását írja le az egyenlítőhöz képest:

$$\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi J}{365} - 1,39\right) \dots\dots\dots (20)$$

ez a szinuszos közelítés jól reprezentálja a Nap éves látszólagos mozgását, és alapvető szerepet játszik a felszíni napsugárzás számításában.

A telítési vízgőznyomás görbéjének meredeksége (Δ) azt fejezi ki, hogy a telítési vízgőznyomás hogyan változik a levegő hőmérsékletének függvényében:

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(T_a + 237,3)^2} \dots\dots\dots (21)$$

A pszichrometrikus állandó (γ) egy olyan paraméter, amely a levegő hőkapacitását, a légnyomást és a víz párolgáshőjét kombinálja, és a konvekciós és párolgási folyamatok közötti kapcsolatot jellemzi:

$$\gamma = \frac{c_w P}{\varepsilon \lambda} \dots\dots\dots (22)$$

A párolgás számítása során a felszíni hőfluxust (G) az energiamérleg részeként vettük figyelembe, amely a nettó sugárzás azon hányadát reprezentálja, amely a vízoszlop hőtárolására fordítódik, ezáltal csökkentve a párolgásra rendelkezésre álló energiát:

$$G = \rho_w c_w h \frac{dT_w}{dt} \dots\dots\dots (23)$$

ahol h az aktuális vízmélység, amelyet a vízállások segítségével határoztunk meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Allen, R.G. (1996). Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 122(2), pp. 97-106. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1996\)122:2\(97\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1996)122:2(97))

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109. <https://doi.org/10.32614/cran.package.meto>

Babka, B., Futó, I., Szabó, S. (2018). Seasonal evaporation cycle in oxbow lakes formed along the Tisza River in Hungary for flood control. *Hydrological processes*, 32(13), pp. 2009-2019. <https://doi.org/10.1002/hyp.13126>

Bartczak, A., Krzemiński, M., Arazny, A. (2024). Changes in evaporation patterns and their impact on Climatic Water Balance and river discharges in central Poland,

1961-2020. *Regional Environmental Change*, 24(3), 130. <https://doi.org/10.1007/s10113-024-02296-3>

Brown, P. (2014). Basics of evaporation and evapotranspiration.

Croitoru, A.E., Piticar, A., Dragotă, C.S., Burada, D.C. (2013). Recent changes in reference evapotranspiration in Romania. *Global and Planetary Change*, 111, pp. 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.09.004>

De Bruin, H.A.R., Keijman, J. (1984). A simple procedure for the determination of the evaporation rate from land surfaces. *Journal of Hydrology*, 73(3-4), pp. 295-305.

Didovets, I., Krysanova, V., Bürger, G., Snizhko, S., Balabukh, V., Bronstert, A. (2019). Climate change impact on regional floods in the Carpathian region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22, 100590. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.01.002>

Harrison, L.P., Wexler, A., Wildhack, W.H. (1963). Fundamental concepts and definitions relating to humidity (Vol. 3).

Holtslag, A.A.M., Van Ulden, A.P. (1983). A simple scheme for daytime estimates of the surface fluxes from routine weather data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 22(4), pp. 517-529. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1983\)022<0517:ASS-FDE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1983)022<0517:ASS-FDE>2.0.CO;2)

Huntjens, P., Pahl-Wostl, C., Grin, J. (2010). Climate change adaptation in European river basins. *Regional Environmental Change*, 10(4), pp. 263-284. <https://doi.org/10.1007/s10113-009-0108-6>

Irmak, S., Haman, D.Z. (2003). Evapotranspiration: Potential or Reference? *ABE 343/AE256*, 6/2003. *EDIS*, 2003(14). <https://doi.org/10.32473/edis-ae256-2003>

Makkink, G.F. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineers*, 11, pp. 277-288.

McCabe, M.F., Ershadi, A., Jimenez, C., Miralles, D.G., Michel, D., Wood, E.F. (2016). The GEWEX Land-Flux project: Evaluation of model evaporation using tower-based and globally gridded forcing data. *Geoscientific Model Development*, 9(1), pp. 283-305. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-283-2016>

Mohamed, Y.A., Bastiaanssen, W.G., Savenije, H.H.G., Van den Hurk, B.J.J.M., Finlayson, C.M. (2012). Wetland versus open water evaporation: An analysis and literature review. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 47, pp. 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.08.005>

Mozny, M., Trnka, M., Vlach, V., Vizina, A., Potopova, V., Zahradnick, P., Stepanek, P., Hajkova, L., Staponites, L., Zalud, Z. (2020). Past (1971-2018) and future (2021-2100) pan evaporation rates in the Czech Republic. *Journal of Hydrology*, 590, 125390. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125390>

Penman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032), pp. 120-145. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>

Rosenberry, D.O., Stannard, D.I., Winter, T.C., Martinez, M.L. (2004). Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a prairie wetland, Cottonwood Lake area, North Dakota, USA. *Wetlands*, 24(3), 483-497. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2004\)024\[0483:COEFDE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2004)024[0483:COEFDE]2.0.CO;2)

Rosenberry, D.O., Winter, T.C., Buso, D.C., Likens, G.E. (2007). Comparison of 15 evaporation methods applied to a small mountain lake in the northeastern USA. *Journal of hydrology*, 340(3-4), pp. 149-166. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.03.018>

Schneller, K.N., Bálint, G.B., Chicoş, A., Csete, M., Dzurdzenik, J., Göncz, A., Petrisor, A.-I., Jaroslav, T., Pál-völgyi, T. (2013). Climate change impacts on the Hungarian, Romanian and Slovak Territories of the Tisza catchment area. European climate vulnerabilities and adaptation: A spatial planning perspective, 205-229. <https://doi.org/10.1002/9781118474822.ch12>

Szilágyi J., Báder L., Józsa J. (2025). A területi párolgás havi értékeinek becslése 2000 és 2022 között Magyarországon kilométeres felbontásban. *Hidrológiai Közlöny*, 105(3). pp. 4-12. <https://doi.org/10.59258/hk.20549>

Tetens, O. (1930). Über einige meteorologische Begriffe. *Z. geophys*, 6, pp. 297-309.

Twine, T.E., Kustas, W.P., Norman, J.M., Cook, D.R., Houser, P., Meyers, T.P., Starks, P.J., Wesely, M.L. (2000). Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. *Agricultural and forest meteorology*, 103(3), pp. 279-300. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00123-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00123-4)

Wang, Y., Jiang, T., Bothe, O., Fraedrich, K. (2007). Changes of pan evaporation and reference evapotranspiration in the Yangtze River basin. *Theoretical and Applied*

Climatology, 90(1), pp. 13-23. <https://doi.org/10.1007/s00704-006-0276-y>

Wang, Y., Liu, B., Su, B., Zhai, J., Gemmer, M. (2011). Trends of calculated and simulated actual evaporation in the Yangtze River basin. *Journal of Climate*, 24(16), pp. 4494-4507. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3933.1>

Wang, S., Tu, Y., Wan, R., Fang, H. (2012). Evaporation of tiny water aggregation on solid surfaces with different wetting properties. *The Journal of Physical Chemistry B*, 116(47), pp. 13863-13867. <https://doi.org/10.1021/jp302142s>

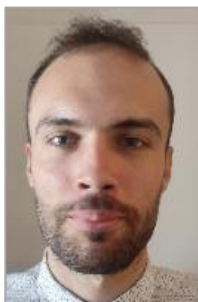
Wang, B., Ma, Y., Ma, W., Su, B., Dong, X. (2019). Evaluation of ten methods for estimating evaporation in a small high-elevation lake on the Tibetan Plateau. *Theoretical and Applied Climatology*, 136(3), pp. 1033-1045. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2539-9>

Wilson, K., Goldstein, A., Falge, E., Aubinet, M., Baldocchi, D., Berbigier, P., Bernhofer, C., Ceulemans, R., Dolman, H., Field, C., Grelle, A., Ibrom, A., Law, B.E., Kowalski, A., Meyers, T., Moncrieff, J., Monson, R., Oechel, W., Tenhunen, J., Valentini R., Verma, S. (2002). Energy balance closure at FLUXNET sites. *Agricultural and forest meteorology*, 113(1-4), pp. 223-243. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00109-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00109-0)

Winter, T.C., Rosenberry, D.O., Sturrock, A.M. (1995). Evaluation of 11 equations for determining evaporation for a small lake in the north central United States. *Water Resources Research*, 31(4), pp. 983-993. <https://doi.org/10.1029/94WR02537>

URL1 Specific Heat Capacities of Water https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-water-d_660.html

SZERZŐ



FÓRIS ATTILA okleveles fizikus (Szegedi Tudományegyetem, 2023). Jelenleg doktorandusz hallgató a Szegedi Tudományegyetem Környezettudományi Doktori Iskola Környezetfizika szakán. Kutatási területe a Tisza felszíni vízhőmérsékletének és hőhátartásának vizsgálata. 2024 óta a Vízügyi Igazgatóság tagja, ahol a felszíni vízhőmérséklettel és a párolgással foglalkozik.

A Hévízi-tó vízháztartásának vizsgálata

Nagy Judit Barbara¹, Hajnal Géza², Szieberth Dénes³, Torma Péter⁴

¹ Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Laboratórium, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: nagy.juditbarbara@edu.bme.hu)

² Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Laboratórium, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: hajnal.geza@emk.bme.hu)

³ Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Laboratórium, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: szieberth.denes@vbk.bme.hu)

⁴ Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Laboratórium, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: torma.peter@emk.bme.hu)

DOI:10.59258/hk.24796



Kivonat

A Hévízi-tó egyedülálló termálkarsztos forrástó, amelynek vízháztartásának megállapítása rendkívül összetett feladat. A vízmérleg számszerű meghatározását nehezíti, hogy a forráskráteren belépő források hozama közvetlenül nem mérhető. Jelen tanulmány célja a tó 2024. évi havi és éves vízháztartási mérlegének meghatározása a rendelkezésre álló monitoring adatok feldolgozásával. A vizsgálat során a vízháztartási egyenlet komponenseit – csapadék, párolgás, Északi-vízlevezető csatorna és Hévíz-folyás (Lefolyó-csatorna) vízhozamai, közvetlen vízkivételek, valamint vízszintváltozás – mérésekkel és számításokkal határoztuk meg. A párolgás számítását örvény-kovariancia mérések előzték meg, amelyből levezettük a párolgás számításához szükséges átviteli tényezőt. A látens hőáram meghatározása így az alap hidrometeorológiai paraméterek ismeretében történt. A csapadékatokat az HungaroMet meteorológiai állomás adataival egészítettük ki. Mindkét vízelvezető csatorna műtárgyánál a folyamatosan regisztrált vízhozamokat több alkalommal ellenőriztük. Az eredmények alapján a tó vízmérlegének meghatározó eleme a forrásbarlangon keresztül érkező termál karsztvíz míg a párolgás és a csapadék hozzájárulása kisebb mértékű. A 2024-es adatok alapján a tó vízszintváltozása kismértékű, mintegy 10 cm nagyságrendű. A vízháztartási mérleg alapján a forráshozam indirekt módon meghatározhatóvá vált, ugyanakkor a legnagyobb bizonytalanságot a kifolyó vízhozamok mérési hibái és a zsilipek üzemeltetési sajátosságai okozzák. Ennek kiküszöbölésére saját fejlesztésű áramlásmérő eszköz fejlesztését kezdtük el, amely lehetőséget biztosít a forrásbarlangból kilépő víz sebességének közvetlen meghatározására. Az eredmények hozzájárulnak a Hévízi-tó hidrológiai működésének pontosabb megértéséhez és a fenntartható vízgazdálkodási döntések megalkotásához.

Kulcsszavak

Hévízi-tó, vízháztartási egyenlet, termálkarszt, monitoring-rendszer, vízhozammérés, hidrogeológia, hidrometeorológia.

Investigation of the water balance of Lake Hévíz

Abstract

Lake Hévíz is a unique thermal karst lake, fed by springs and featuring a complex water balance system. The unknown discharge of the springs entering through the crater makes it difficult to quantify this balance. This study aims to determine the monthly and annual water balance of the lake for 2024 using available monitoring data. During the analysis, the components of the water balance equation – precipitation, evaporation, discharge through the northern and southern outlets, direct water withdrawals, and water level changes – were determined using measurements and calculations. Evaporation estimation was based on eddy covariance measurements, from which the transfer coefficient was derived. The latent heat flux was subsequently calculated using routine hydrometeorological parameters. Precipitation data were supplemented with data from a meteorological station operated by the Hungarian Meteorological Service. Discharge measurements at both outlet structures were verified on multiple occasions. The results show that the dominant component of the lake's water balance is the inflow from the thermal karst springs entering through the spring cave, while evaporation and precipitation have a smaller contribution. Based on the 2024 data, water level fluctuations were minor, on the order of approximately 10 cm. The spring discharge could be indirectly estimated by closing the water balance; however, the greatest uncertainties arise from measurement errors in the outflow discharge and from operational characteristics of the sluice structures. To reduce these uncertainties, the development of a self-designed flow measurement device has been initiated, enabling the direct determination of flow velocity at the spring cave outlet. The results contribute to a more accurate understanding of the hydrological functioning of Lake Hévíz and support informed decision-making for sustainable water management.

Keywords

Lake Hévíz, water balance, thermal karst, monitoring system, discharge measurement, hydrogeology, hydrometeorology.

BEVEZETÉS

A Hévízi-tó a Dunántúli-középhegység termálkarsztos forrásrendszere által táplált forrástó. A meleg vízű tó hidrológiai, hidraulikai és hidrogeológiai szempontból egyedülálló, miközben turisztikai és gyógyászati hasznosítása

révén kiemelkedő társadalmi és gazdasági jelentőséggel is bír. A tó működését meghatározó termálkarsztos forráscsoport azonban érzékenyen reagál mind a természetes, mind az antropogén hatásokra, ami indokoltá teszi a vízháztartási folyamatok vizsgálatát. Mindemellett a vízháztartási

egyenlet számszerű meghatározásával lehetővé válik a társadalom szükségleteivel – jelen esetben a turisztikával, rekreációval – való hatékonyabb összehangolás.

A térség karsztvízháztartása a 20. század második felében jelentős változásokon ment keresztül, ugyanis az 1950-es évektől meginduló, regionális léptékű bányászati vízkimelések következtében a karsztvízszintek jelentősen csökkentek (Rétvári és Tóza 1998). A Hévízi-tó esetében mindez a forráshozam és a vízhőmérséklet csökkenésében is megmutatkozott (Kádár 1972, Böcker 1975a, 1975b, 1978, Horányi és Sugár 1975, Müller 1975, Lorberer 1979).

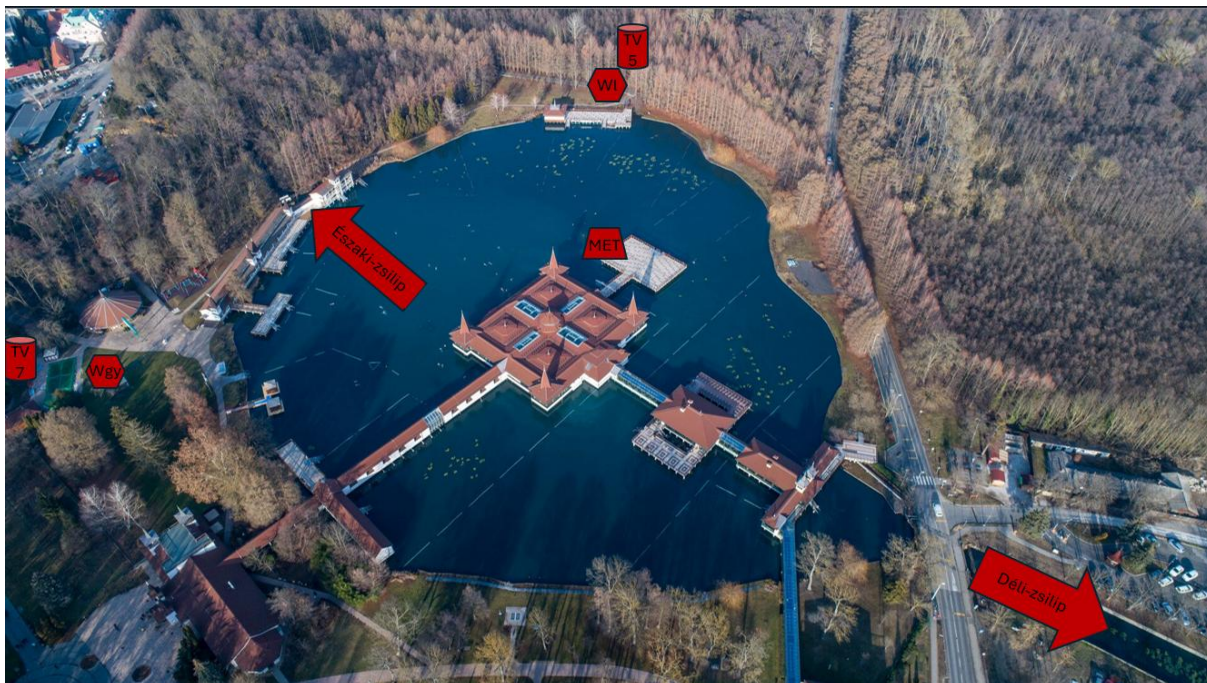
A Hévízi-tó vízháztartásának meghatározására a korábbiakban részlegesen került sor, melynek fő oka a tóba belépő, azt tápláló, valamint a tó áramlásának legmeghatározóbb elemét jelentő források vízhozamának mérése jelenti. A tó legmélyebb pontján található forrásbarlangba ugyanis több forrás is belép, mint a felszín alatti karsztos víztartó rendszer különböző áramlási pályáinak megcsapolódása, eltérő hőmérséklettel, valamint vízhozammal. Ezen források hozama, hőmérséklete, illetve helye is változott az idők során és ennek közvetlen mérése is komoly kihívást jelentett.

A Hévízi-tó vízháztartásának vizsgálatában meghatározó szerepet játszottak a 20. század második felében végzett vízhozam-megfigyelések. Szilágyi és társai (1984) részletes sorozatmérések alapján rámutattak arra, hogy a forrásbarlangból kiáramló víz közvetlen vízhozammérése műszaki okokból nem megoldható, ezért a forráshozam elsősorban a kifolyó vízhozam és a vízszintváltozás együttes

figyelembevételével becsülhető. Vizsgálataik során egyértelművé vált, hogy az egyedi vízhozammérések jelentős szórást mutathatnak, míg a többórás sorozatmérések közép vízhozam értéke maximálisan csak 9%-os hibával terhelt. A mérések mellett rövid idejű forráshozam-ingadozásokra is felhívták a figyelmet, amelyek okát geofizikai hatásokban, a forráskráter időszakos eltömődésében vagy éppen a pillanatnyi tározódás/leürülés miatt létrejövő eltérésben látták.

A Hévízi-tó vízháztartására vonatkozó későbbi vizsgálatok jellemzően regionális léptékben, a karsztos utánpótlódás és a vízkitermelések összefüggésében értelmezték a rendszer működését. A tó lokális léptékű, mérési adatokon alapuló vízháztartási egyenletének egységes módszertan szerinti, havi időléptékű számszerű meghatározása azonban mindeddig nem valósult meg. Az utóbbi években rendelkezésre álló, nagyobb időbeli felbontású vízszint-, vízhozam- és meteorológiai adatsorok, valamint a monitoringrendszer célzott fejlesztése (1. ábra) új lehetőséget teremt a vízháztartási folyamatok pontosabb vizsgálatára.

A Hévízi-tó vízháztartása összetett rendszer, amelyben a domináns beérkező tagot a mélyből feltörő termálkarsztos források adják. A kilépő oldalon a vízelvezető csatornák műtárgyain távozó vízhozam jelentős, míg a párolgás, a közvetlen tó felszínére hulló csapadék, a felszíni hozzá- és elfolyás, a talajvízzel való kapcsolat szerepe alárendelt. A tó vízszintváltozásán keresztül a tározott vízmennyiség időbeli ingadozása ugyanakkor a vízháztartási mérleg meghatározó eleme, különösen rövidebb időléptéken vizsgálva.



1. ábra. A Hévízi-tó vízháztartási mérlegéhez szükséges mérési helyszínek. TV5, TV7: talajvízkutak, Wgy, Wl talajnedvesség- és vízhőmérséklet-mérés, MET meteorológiai állomás.

Figure 1. Measurement locations required for the water balance of Lake Hévíz. TV5, TV7: groundwater wells, Wgy, Wl soil moisture and water temperature measurement, MET meteorological station.

Jelen vizsgálat célja a Hévízi-tó vízháztartásának elemzése a 2024-es évre, a rendelkezésre álló monitoring adatok felhasználásával, különös tekintettel a vízmérleg fő

elemeinek – a források utánpótlódása, az elfolyó vízhozam, a párolgás, a csapadék és a vízszintváltozás – számszerű jellemzésére. A tanulmány célja továbbá a

vízháztartási egyenlet felállítása, bizonytalanságainak felmérése, amely hozzájárulhat a Hévízi-tó hidrológiai működésének mélyebb megértéséhez, valamint a tó hosszútávú, fenntartható vízgazdálkodásához, a klímaváltozás hatásának kimutatásához.

A tó hidrológiai jellemzői, levezető műtárgyak

A Hévízi-tó egy természetes termálkarszt-forrás felett kialakult forrástó. A tó vízfelülete 46 350 m², térfogata 127 950 m³, átmérője közel 250 m. A tó túlfolyó vízszintje 108,80 mBf, átlag mélysége 2,76 méter, a forrásbarlang bejáratának mélysége 38 méter, a tó vizének napi utánpótlása jelenleg kb. 39 millió liter, a víz becsült tartózkodási/kicszerelődési ideje 3-4 nap (*Balatoni Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht. 2007*). 1996-ban a déli zsilipet átalakították, azóta a tó átlagos üzemvízszintje 108,78 mBf, vízszintje 108,73-108,83 mBf szint között tartható, uszadékkezelés esetén az engedélyezett minimális vízszint 108,47 mBf (*Vas Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság Katasztrófavédelmi Hatósági Osztály 2022*).

A tóból északon és délen két zsilipen keresztül történik a tó vízhozamának elvezetése. 2017 és 2023 között ezek a műtárgyak rekonstrukción estek át, melynek célja a Hévízi-tó vízszintszabályozási és vízkormányzási rendszerének felújítása, valamint a vízhozammérő rendszerek rekonstrukciója volt. Az Északi-zsilip egy az Északi-vízlevezető csatorna 0+012 km szelvényében kialakított 0,94 m nyílású, fektethető acél zsiliptábla. A műtárgynál a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (NYUDUVIZIG) kezelésében található automata vízszintregisztráló segítségével az átbukás függvényében számítják a vízhozam értékét.

A Déli-zsilipen a tó vízhozamának nagyjából ¾-ét vezetik le. A kombinált műtárgyat (két zsilip három kamrával) a Hévíz folyáson (2+727 és 2+740 km szelvény között) alakították ki. A felső zsilipen nincsen átbukás, csak az uszadék elvezetése esetén. A középső kamrához érkezik a zsilip alatt átvezetett NA 800 mm átmérőjű EMAP vízhozammérő cső, melyben egy ultrahangos vízhozammérő került elhelyezésre. A telepített vízhozammérő rendszert a Hévízi Szent András Reumakórház és Gyógyfürdő (továbbiakban Gyógyfürdő) üzemelteti. A tó vízszintjének szabályozását az alsó zsiliptábla biztosítja, ahol a két szélső kamrá történik a túlfolyó víz elvezetése.

A VÍZHÁZTARTÁSI MÉRLEG TAGJAI

Csapadék

A Hévízi-tó közvetlen környezetében a vizsgált időszakra vonatkozóan nem állt rendelkezésre teljes, folyamatos csapadékmérési adatsor. A vízháztartási számításokhoz ezért a HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató adatbázisából származó csapadékadatokat (3. ábra) használtuk fel. A tóhoz legközelebbi, Keszthely–Tenyészt (azonosító: 26505) meteorológiai mérőállomás napi csapadékadatait szolgáltattak az idősor kiegészítésére (URL).

A módszer bizonytalanságát elsősorban a lokális csapadékesemények, záporok térbeli változékonysága jelenti, azonban a tó vízháztartásában a csapadék szerepe kisebb

jelentőségű, így a regionális állomás adatai megfelelő közelítést biztosítanak az éves és havi mérlegszámításokhoz.

A 2. ábrán látható az általunk 2023 nyarán a tóközépen található központi fürdőépület teraszán felállított hidrometeorológiai mérőállomás által mért csapadékidősről, valamint a Keszthely–Tenyészt mért napi csapadékok. Több hónapos idősről alapján azt tapasztaltuk, hogy a csapadékösszegekben nincs nagy eltérés: a fenti időszakban mindössze 4 mm. A korreláció értéke erős, $R=0,72$ a két adatsor között.

Párolgás

A telepített (majd a fürdőépület lezárása miatt azóta ideiglenesen üzemben kívül helyezett) hidrometeorológiai mérőállomás rögzítette többek között a szélsőbességet és -irányt, a léghőmérsékletet, a relatív páratartalmat, a szelvényes és látens hőáramokat, a csapadékot, valamint a rövid- és hosszuhullámú sugárzási komponenseket (*Reska és társai 2025*). A telepített műszerek között szerepelt egy örvény-kovariancia műszeregység (*Foken 2008*), amely közvetlenül mérte a turbulens hőfluxusokat, így a látens (evaporatív) hőáramot vagyis a tó párolgást.

A vizsgált időszakban a fent említett meteorológiai adatokból számíthatóvá vált a látens hőáram az (1) egyenlet alapján, ahol a ρ_a a levegő sűrűsége [kg/m³], a λ a víz párolgási hője [J/kg], az U a szélsőbesség [m/s], a C_q az átviteli tényező ($C_q = 0,9 \cdot 10^{-3}$), amelyet egy TDK dolgozat (*Reska 2024*) keretében számítottunk ki. Ennek segítségével a későbbiekben az alap meteorológiai paraméterek ismeretében, örvény-kovariancia műszeregység (szónikus szélsőbességmérő és gázanalizátor, ami a 10 Hz mintázási gyakoriságnak köszönhetően a fluktuációk kovarianciájából számíthatóvá teszi a fluxust) nélkül számíthatóvá válik a párolgás értéke (*Lükő és társai 2022*). Az (1) egyenlethez szükség volt még a q_l és q_v ismeretére, ami a mérés magasságában lévő levegő és a vízfelszín feletti levegő fajlagos páratartalma [kg/kg].

$$LE \left[\frac{W}{m^2} \right] = \rho_a \cdot \lambda \cdot C_q \cdot U \cdot (q_l - q_v) \quad (1)$$

Ehhez a (2) egyenletet használtuk, ahol a p a levegő nyomása, és az e a pillanatnyi vízgőznyomás értéke, melyet a (3) egyenletből számítottunk, ahol az RH a relatív páratartalom, az E a telített vízgőznyomás.

$$q = 0.622 \cdot \frac{e}{p - 0.378 \cdot e} \quad (2)$$

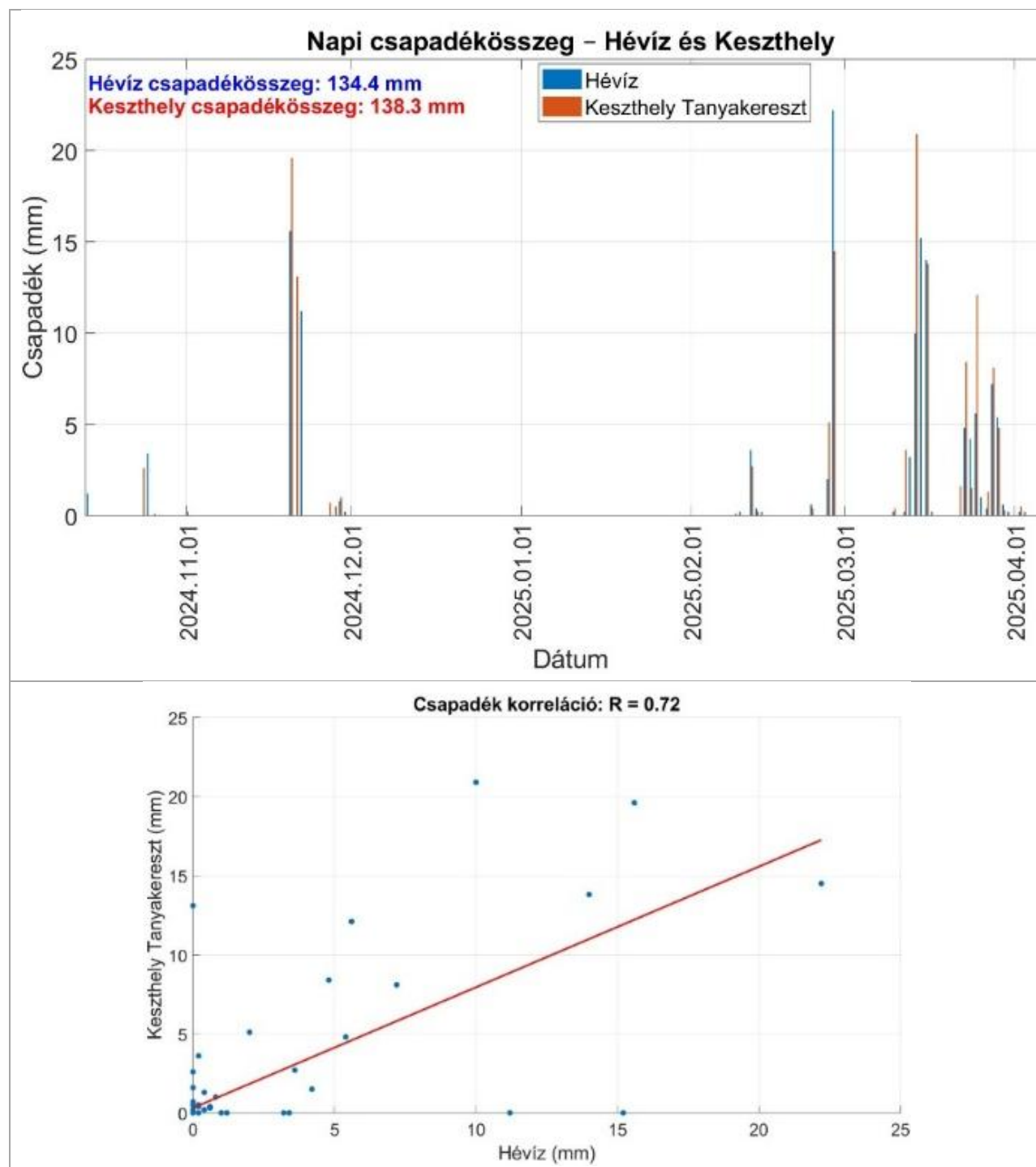
$$e = RH \cdot E \quad (3)$$

A telített vízgőznyomás meghatározása a Magnus–Tetens (4) egyenlet segítségével történt, ahol t a levegő hőmérséklete.

$$E = 6.112 \cdot \frac{17.62 \cdot t}{243.12 + t} \quad (4)$$

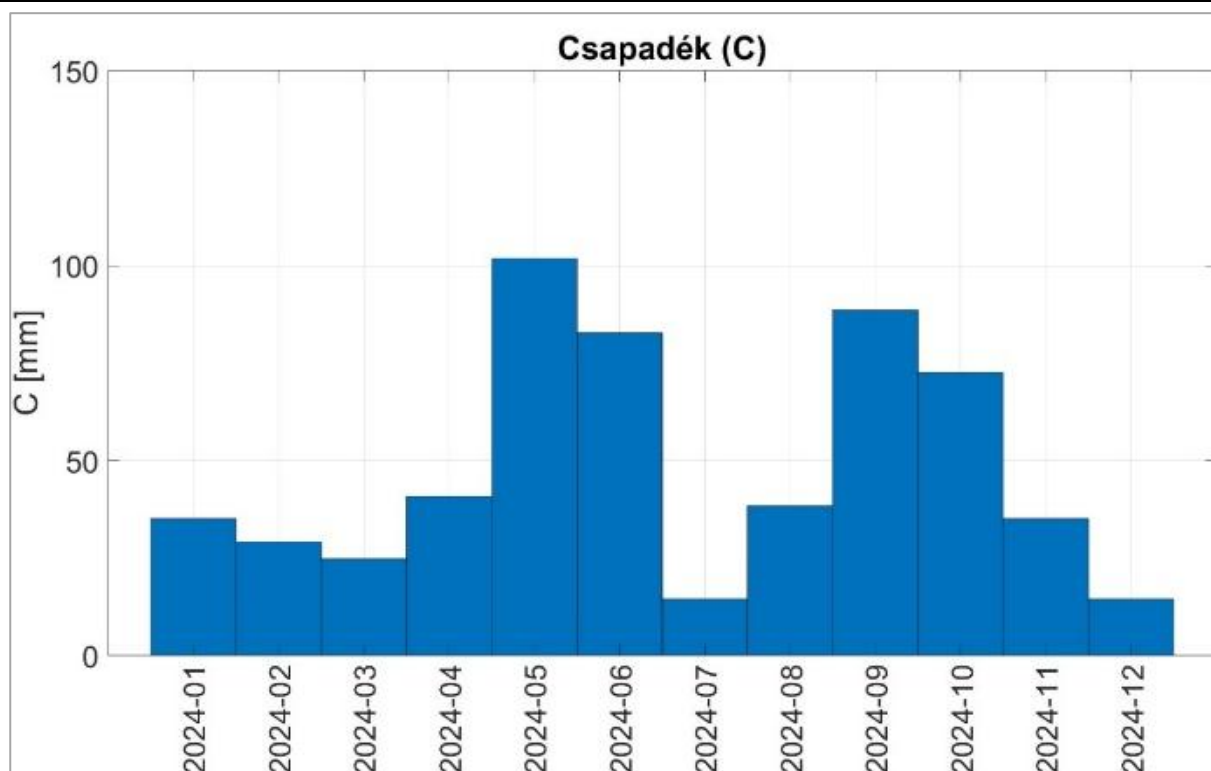
A látens hőáram számítása után már a párolgás értéke mm-ben kiszámítható a Δt időlépték és a ρ_v víz sűrűsége [kg/m³] figyelembevételével az alábbi (5) egyenlettel.

$$P [mm] = \frac{LE \cdot \Delta t}{\rho_v \cdot \lambda} \quad (5)$$

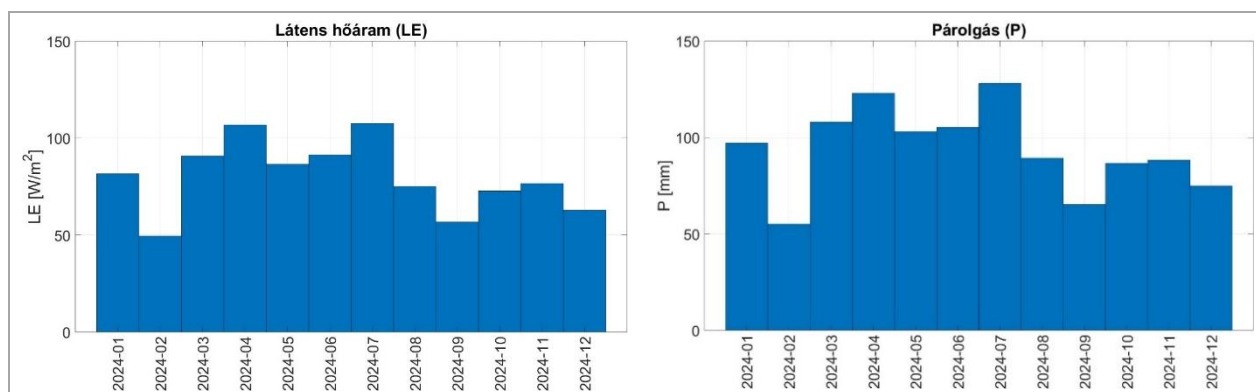


2. ábra. A Hévízi-tónál felállított meteorológiai állomás és a HungaroMet (Keszthely Tanyakereszt) állomásnál mért napi csapadékösszegek összehasonlítása

Figure 2. Comparison daily precipitation amounts measured at the meteorological station set up at Lake Hévíz and the HungaroMet (Keszthely Tanyakereszt) station



3. ábra. 2024-es havi csapadékösszegek a Hévízi-tónál
Figure 3. Monthly precipitation at Lake Hévíz in 2024



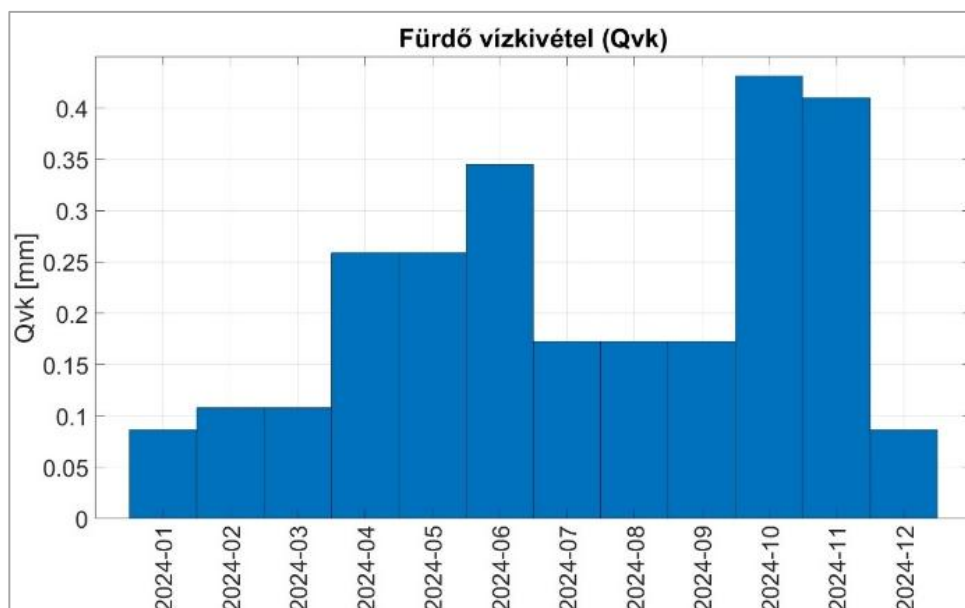
4. ábra. 2024-es havi látens hőáram (balra) és párolgás (jobbra) értékek a Hévízi-tónál
Figure 4. Monthly latent heat flux (left) and evaporation (right) values at Lake Hévíz in 2024

Február hónapban néhány napig nem üzemelt az állomás, ezért a meteorológiai adatsorban hiány lépett fel, így a látens hőáram és a párolgás értékek (4. ábra) alacsonyabbak, mint a tényleges havi értékek.

Szilágyi és társai (1984) a párolgás értékét $0,0014 \text{ m}^3/\text{s}$ -ra becsülték permanens vízhozamot feltételezve, ami a mi számításaink alapján (havi átlag értékből számítva) $0,0017 \text{ m}^3/\text{s}$.

Hévízi Szent András Reumakórház és Gyógyfürdő vízfelhasználása

A Hévízi-tóból közvetlenül kivett vízmennyiség elsősorban a Tófürdő közcélú vízigényét szolgálja, amely a tó teljes vízháztartásához viszonyítva csekély mértékű. Az intézmény gyógyvízzel töltött medencéinek vízigényét két, a tó környezetében elhelyezkedő termelőkút biztosítja. A közvetlen vízkivételekre vonatkozó adatokat (5. ábra) a Gyógyfürdő bocsátotta rendelkezésünkre, amelyeket a vízháztartási mérlegben külön tételként vettünk figyelembe. Az adatokat m^3 -ben kaptuk meg, majd ebből számítottunk mm értéket, a tó felületével való osztás után.



5. ábra. A 2024-es havi közvetlen vízkivételek a tóból
Figure 5. Monthly direct water withdrawals from the lake in 2024

Vízhozam

A Hévízi-tó vízháztartásának egyik legmeghatározóbb eleme a két leeresztő műtárgyon – az Északi-zsilipen és a Déli zsilipen – távozó vízhozam. A vizsgálat során több alkalommal végeztünk ellenőrző vízhozamméréseket mindkét műtárgynál.

Az Északi-zsilip esetében az áramlási sebesség mérésére a Doppler-elven működő ADV (Nortek Vector) műszert alkalmaztunk, a szelvény geometriai felmérésével kiegészítve. A mérések során különböző bukónyi-tási állapotok mellett határoztuk meg a bukótényezőt a folytonossági egyenlet és a bukóképlet segítségével

(Nagy és társai 2025). A további alkalmak során új szelvényeknél is megismételtük, a bukó mozgatása nélkül a mérést.

A Déli zsilip esetén a mérések során folyamatosan változtatásokra volt szükség. Az általunk használt ADCP általános felhasználási területe a nagyobb, Duna méretű folyók. Ebből kifolyólag a mérési beállítások és a helyszín megfelelő megválasztása kiemelkedően fontos volt. Utóbbi esetén a kezdetekben a zsilip alatt végeztünk méréseket, azonban a későbbiek során a zsilip felett, a kemping területén (1. fénykép) találtunk egy viszonylag egyenletes áramlási szelvényt.



1. fénykép. A Déli-zsilipnél végzett közös vízhozammérés a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatósággal
Photo 1. Joint flow measurement with West-Transdanubian Water Directorate (NYUDUVIZIG) at South Lock

Az 1982-ben végrehajtott hosszú idejű sorozatmérések eredményei az alábbi, 1. táblázatban láthatóak. A hosszú idejű sorozatmérések átlagos értéke eltérő volt, 0,351 m³/s és 0,423 m³/s között változtak. A VITUKI 1981

szeptemberében és 1982 januárjában hasonló, 5 órás mérést végzett, melyek eredménye 0,360 m³/s és 0,330 m³/s volt (Szilágyi és társai 1984).

1. táblázat. Az 1982-ben végrehajtott hosszú idejű vízhozam sorozatmérések eredményei (Szilágyi és társai 1984)
Table 1. Results of the long-term flow series measurement carried out in 1982 (Szilágyi et al. 1984)

Időpont	Időtartam DT	Hozammérések száma	Nyitott zsi- lip	Dh	Átlagos forrás- hozam	3 σ	
	[h]	[db]		[cm]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]
Március 15-16.	18	18	D	6,1	0,351	+/- 0,030	9
április 05.	4	5	D	0	0,362	+/- 0,023	6
április 26.	8	9	D	2,3	0,386	+/- 0,015	4
április 25.	7	5+5	D, É	0	0,423	+/- 0,039	9

2. táblázat. Az Északi- zsilipnél (É) és Déli-zsilipnél (D) 2023. szeptember 5. és 2024. november 25. között végzett vízhozammérések eredményei

Table 2. Results of discharge measurements at the North (É) and South (D) Locks on September 5, 2023, and November 25, 2024

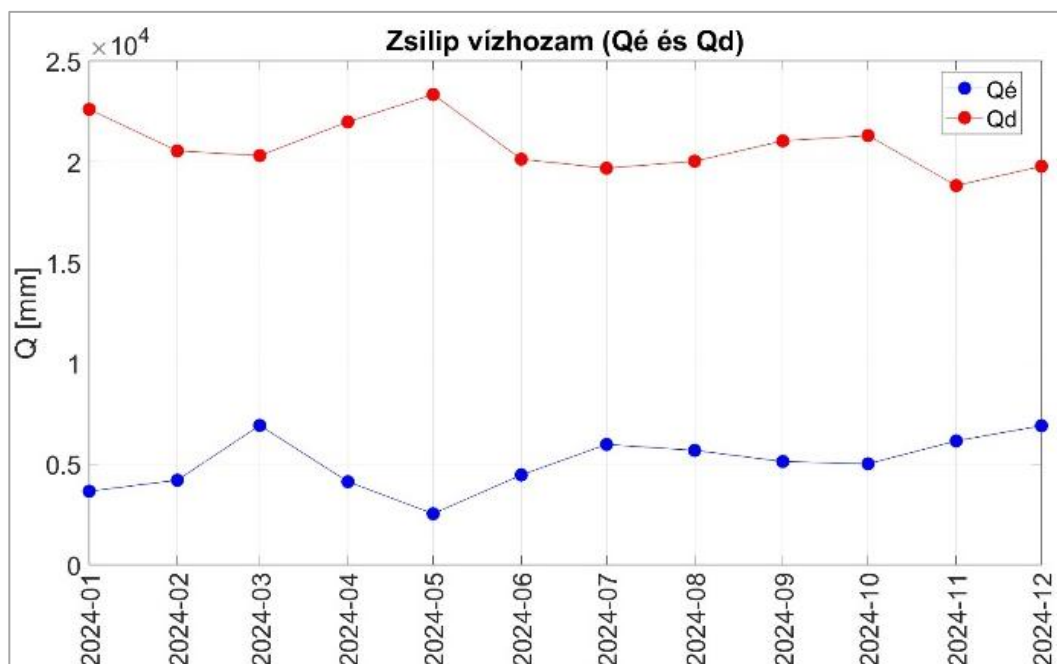
Zsi- lip	Időpont	Nyit- tás	Vízhozammérési eredmények [l/s]			Eltér- és [l/s]	Relatív hiba [%]
			BME	NYUDUVI- ZIG	Gyógyfürdő		
É	2023.09.05.	ere- deti	108	107	-	1	0,9
É	2023.09.05.	10 cm nyitás	192	191	-	1	0,5
É	2023.12.13.	ere- deti	66	71	-	-5	-7,0
D	2023.12.13.	nem	396	-	405	-9	-2,3
É	2024.01.25	ere- deti	62	61	-	1	1,6
D	2024.01.25	nem	409	-	391	18	4,6
D	2024.08.07	igen	511	-	124	387	312,1
D	2024.08.07	igen	346	-	119	227	190,8
D	2024.08.07	igen	480	-	122	358	293,4
D	2024.08.07	igen	250	-	125	125	100,0
D	2024.10.14	igen	350	-	122	228	186,9
D	2024.11.25	nem	336	-	336	0	0,0
D	2024.11.25	nem	331	-	335	-4	-1,2

A 2. táblázatban látható, hogy az Északi-zsilip esetén a vízhozammérés eredményei a NYUDUVIZIG berendezése által folyamatosan észlelt adatsorokkal jó egyezést mutatnak, a legnagyobb eltérés 7%-os hibát jelentett.

A Déli-zsilipnél az augusztusi, szeptemberi és októberi hónapokban normál esetben csak uszadék levezetésre mozgatót felső zsiliptáblákat üzemeltetési okból nyitva tartották, így a mérőrendszer kialakítása miatt a vízhozam nagyobb része méretlenül folyt át a szelvényen. Ennek következményeként több hónapon keresztül az átlagos vízhozam közel harmadára csökkent ezekben a hónapokban a beépített vízhozammérő cső adatai szerint. Az augusztusi és októberi mérések esetén ezért látható, hogy az általunk és a Gyógyfürdő kezelésében található vízhozammérő által mért vízhozamok között akár 300%-ot meghaladó eltérés is kialakult. Az általunk és a NYUDUVIZIG által végzett ellenőrző vízhozammérések alapján ezekben a hónapokban a beépített vízhozammérő által mért vízhozamok nagyjából háromszorosa

a valódi átfolyás. Ezek alapján a 2024.08.07-én mért 346 l/s-ot és a 2024.10.14-én mért 350 l/s-ot elfogadtuk.

A Déli-zsilipnél, azoknál a hónapoknál, ahol az ellenőrző mérések kis eltéréseket mutattak, a Gyógyfürdő kezelésében lévő berendezés által észlelt adatsorokkal dolgoztunk. A nyers adatokat ellenőriztük, a kiugró értékeket (pl. rövid, néhány órás zsilipnyitás az uszadékkezelés miatt) kiszűrtük. Annál a három hónapnál (augusztus, szeptember, október), amikor a Déli-zsilip végig nyitva volt, kétféle módon számítottunk vízhozamot. Az egyik esetén az ellenőrző vízhozammérésekből számított átlagértékeket határoztunk meg az adott hónapra. A másiknál a beépített műszer által mért adatsor értékeit egy arányszámmal korrigáltuk. Az arányszám az ellenőrző mérések (saját, illetve NYUDUVIZIG) és a beépített vízhozammérő adatai alapján háromszoros szorzást jelentett. Megjegyezzük, hogy ez természetesen nem felel meg a pontos vízhozamoknak, de véleményünk szerint megfelelő közelítést adhat az átfolyt vízhozam értékére. A két módszer közötti számszerű eltérés a 3. táblázatban látható.



6. ábra. 2024-es havi átlag elfolyó vízhozamok az Északi- és Déli-zsilipen
Figure 6. Average monthly discharges at the North and South locks in 2024

A Déli-zsilipnél a vízhozam-meghatározás bizonytalansága miatt további, sűrűbb ellenőrző mérések indokoltak, amelyek megvalósítása a NYUDUVIZIG-gel együttműködésben történik.

A NYUDUVIZIG ellenőrzőmérései és a Gyógyfürdő kezelésében lévő berendezés által észlelt adatsorok között 5-50 l/s-os eltérések (2-13%-os relatív hiba) jellemzőek abban az esetben, ha csak a mérőcsövön folyik át a vízhozam.

Tó és talajvíz kapcsolata

A tó és a környező talajvíz kapcsolatának feltárására 2024 októberében két kijelölt talajvízkútban (TV5 – Lótusz terasz TV7 – Gyermekmedence) vízszintregisztrálókat helyeztünk el (1. ábra). A kutak és a tó közötti szelvényben két mélységben (20 cm és 40 cm) talajnedvesség- és hőmérsékletérzékelő műszereket telepítettünk.

A rendelkezésre álló adatsor hossza a vizsgált évben korlátozott (1,5 hónap), továbbá a mérési időszakban műszaki okokból (kábel elrágása, elvágása) adathiányos időszakok is előfordultak.

A 7. ábrán látható, hogy a Lótusz terasznál elhelyezett nedvességmérő sokkal közvetlenebb kapcsolatot mutat a csapadék értékével, hiszen kisebb csapadék (0,6 mm) esetén is megnőtt a talajnedvesség értéke a felszínhez közelebb és a mélyebben elhelyezett talajnedvességmérő esetén is. A gyermekmedencénél ugyanaz a csapadék nem mutatkozik meg a talajnedvesség értékekben. Ennek oka, hogy a gyermekmedence elnevezésű mérőhely a homokkőves hegy lábánál található, míg a Lótusz Terasz a véderdő felőli,

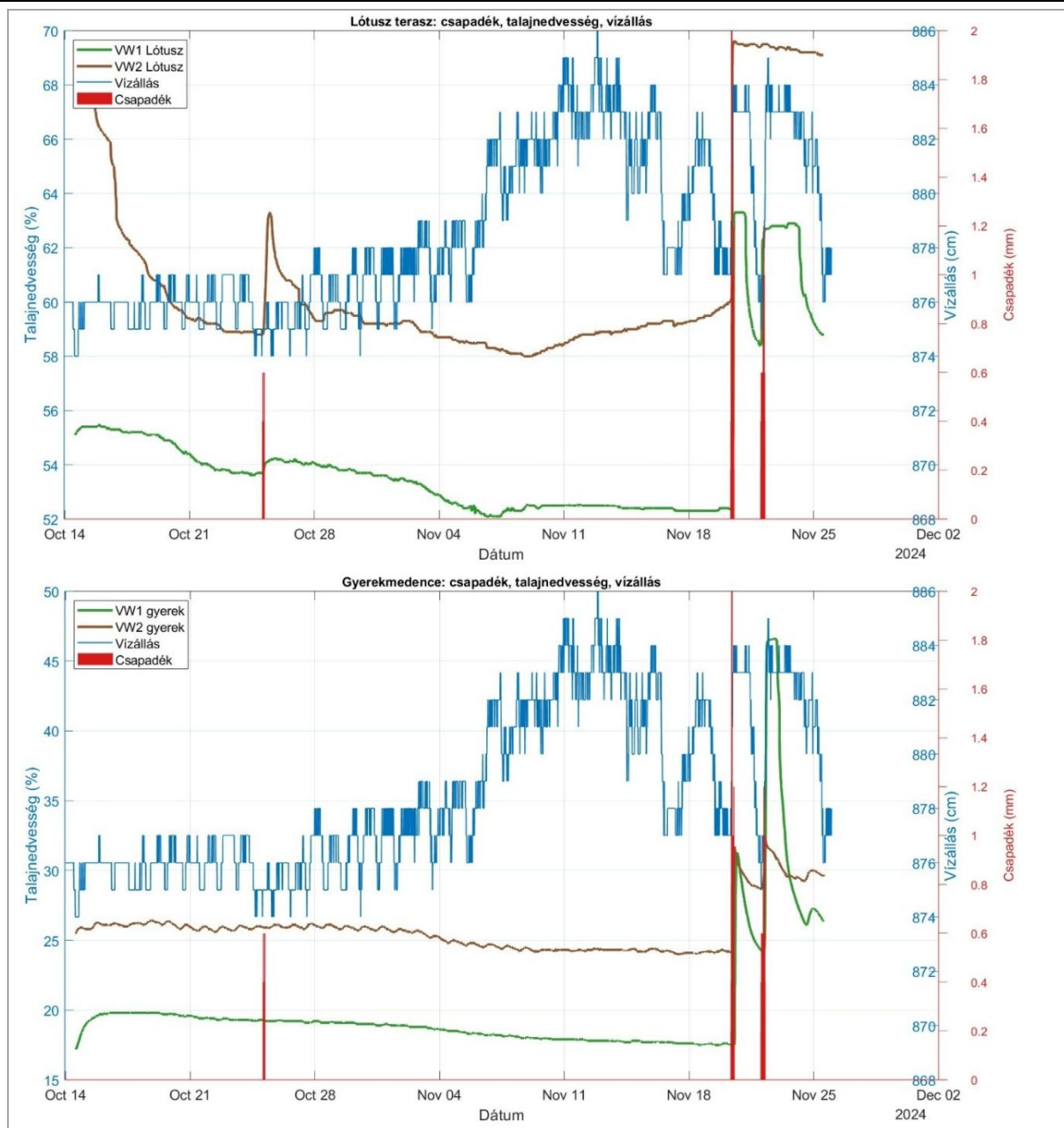
tözegezes talajjal jellemezhető oldalon. A nagyobb intenzitású csapadékeseményre (2 mm 15 perc alatt) azonban a gyermekmedencénél elhelyezett talajnedvességmérő is magasabb értékeket mért.

A talajnedvesség és a tó vízállása között ez a kapcsolat a rövid idősor alapján nem mutatható ki egyértelműen. Ugyan az idősor végén, november 20-án és november 22-én, épp a két csapadékos napon a vízállás magasabb értéket mutat, azonban az előtte lévő időszakban a magasabb vízállás nem befolyásolta a talajnedvesség értékeit a gyermekmedence esetében. A Lótusz terasznál azonban november 7-én mind a vízállásban mind pedig – kis késleltetéssel – a mélyebben elhelyezett talajnedvességmérő által mért értékekben felfutás látható.

Szilágyi és társai (1984) a munkájukban az elszívárgás értékét 0,005-0,02 m³/s-ra vette fel permanens vízhozamot feltételezve, aminek forrásaként az Aluterv-FKI 1982-es munkáját jelölik meg. Mivel nem áll rendelkezésünkre ez a forrás, így nem ismert a módszer, amivel ezt az értéket számították.

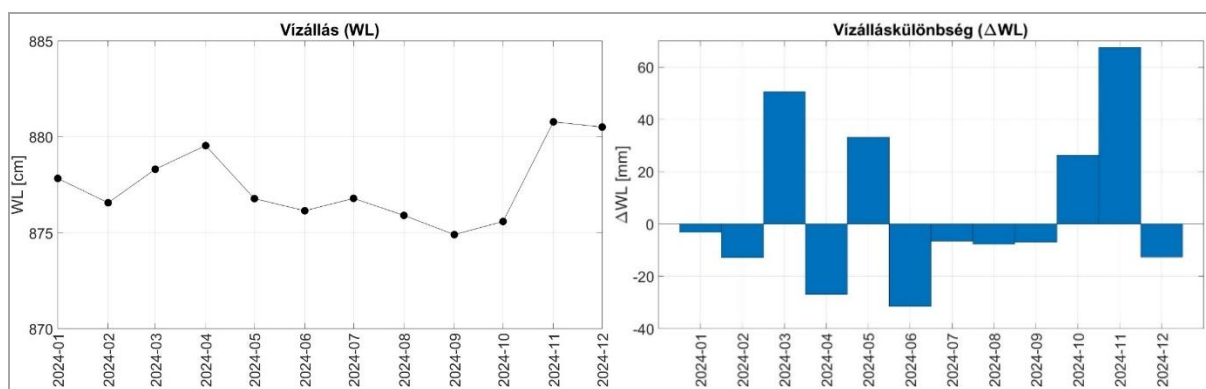
Vízszint

A vízkészletváltozás meghatározásához a NYUDUVIZIG által mért tóközép vízszint-adatsort használtuk fel. A tó vízszintingadozása a vizsgált időszakban 12 cm alatti volt (8. ábra), amelyet elsősorban a vízelvezető csatornák műtárgyainak üzemeltetése befolyásolt. A napi vízszintek változásából számítottuk a tározott vízmennyiség változását, amely a havi vízháztartási mérleg egyik meghatározó eleme.



7. ábra. Talajnedvesség, csapadék és vízállás kapcsolata

(Lótusz terasz fent, gyerekmedence lent)

Figure 7. Relationships between soil moisture, precipitation, and water level
(Lótusz terrace upstairs, children's pool downstairs)

8. ábra. A Hévízi-tó havi átlag vízállásai (balra), és a napi vízállásokból számított különbségek (jobbra)

Figure 8. Monthly average water levels of Lake Hévíz (left), differences calculated from daily water levels (right)

Vízháztartási egyenlet

A Hévizi-tó havi vízháztartási mérlegének pozitív oldalát a forrásbarlangon keresztül belépő termálkarsztos víz, a csapadék, valamint – elméleti lehetőségként – a talajvízből történő beszívargás adja.

A mérleg negatív oldalán a vízelvezető csatornák műtárgyain távozó vízhozam, a párolgás, a talajvíz irányába történő elszívargás, valamint a Gyógyfürdő vízkivétele szerepel. Mivel a források hozamának közvetlen mérése eddig nem volt megoldható, a forrásbarlangban belépő vízhozamot a vízháztartási mérleg zárásával becsültük.

A tó vízkészletének időbeli változása a beérkező és távozó vízmennyiségek különbségeként adódik:

$$\frac{dv}{dt} = Q_{\text{forrás}} + C \cdot A - P \cdot A - Q_{\text{é}} - Q_D - Q_{vk} \quad (6)$$

ahol,

V a tó tározott vízmennyisége [m^3],
 $Q_{\text{forrás}}$ a forrásbarlangon keresztül a tóba belépő vízhozam [m^3/nap],
 C a tófelszínre hulló csapadék magassága [m/nap],

P a párolgás [m/nap],
 A a tó aktuális vízfelszíni területe [m^2],
 $Q_{\text{é}}, Q_D$ az Északi-zsilipen és a Déli-zsilipen távozó vízhozam [m^3/nap],
 Q_{vk} a tóhoz közvetlenül kapcsolódó vízkivételek (Gyógyfürdő) [m^3/nap].

Ez a megközelítés összhangban van a Hévizi-tónál korábban alkalmazott vízháztartási vizsgálatokkal, amelyek szintén a kifolyó vízhozamok és a vízszintváltozás alapján becsülték a források hozamát.

A vízháztartási egyenlet felírásakor feltételeztük, hogy a tó és a környező talajvíz közötti közvetlen vízcsera a vizsgált időléptékben elhanyagolható. A vízháztartási egyenlet pontosságát így a különböző tagok mérési pontossága határozza meg.

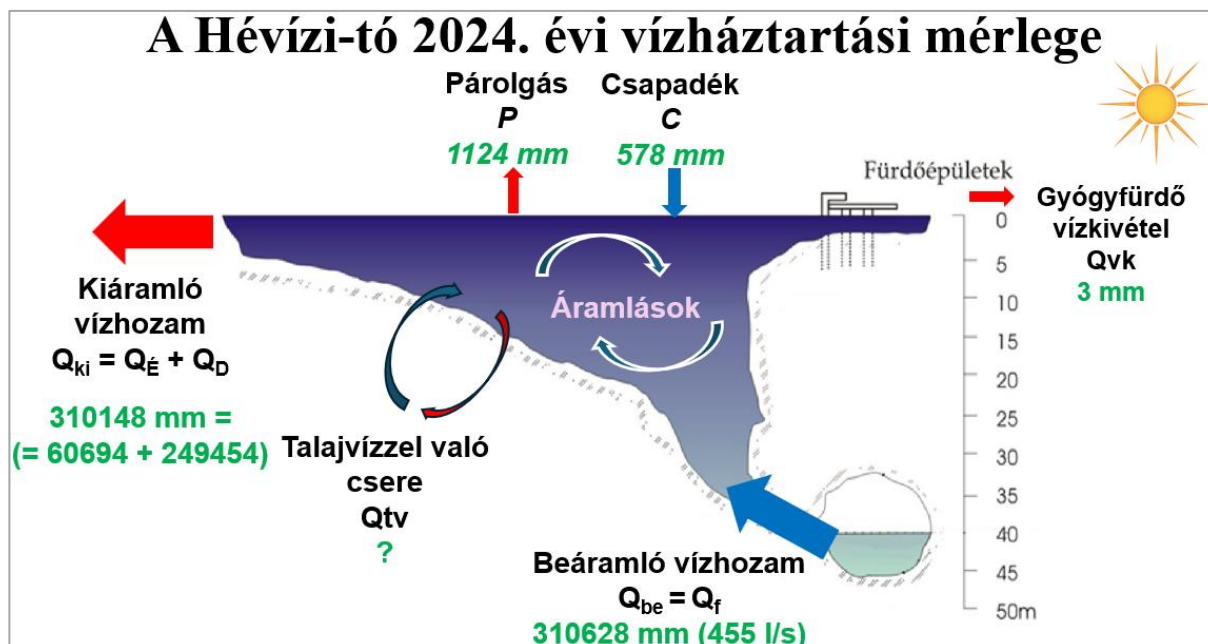
A 3. táblázat tartalmazza a havi léptékű vízháztartási egyenlet tagjait mm mértékegységben, valamint a negyedéves vízmérleget. A táblázatban feltüntetésre került a vízhozam fejezetnél felvázolt, Déli-zsilipnél alkalmazott két-féle számítási módszer, valamint az ezekhez tartozó relatív eltérés értéke.

3. táblázat Hévizi-tó havi és negyedéves vízháztartási mérlege 2024-ben
 Table 3. Monthly and quarterly water balance of Lake Hévíz in 2024

Dátum	P [mm]	C [mm]	Qé [mm]	Qd [mm]		Qvk [mm]	dWL [mm]	Qf [l/s]		Relatív eltérés [%]
				Átlagból	Szorótényező			Átlagból	Szorótényező	
2024. január	97,15	35,10	3 649,29	22 596,97		0,09	-3,13	455,32		
2024. február	55,15	29,10	4 198,61	20 532,41		0,11	-12,90	458,21		
2024. március	108,03	24,80	6 913,03	20 301,26		0,11	50,58	471,51		
2024. április	123,00	40,80	4 123,79	21 973,13		0,26	-26,88	468,62		
2024. május	103,06	101,80	2 532,98	23 329,74		0,26	33,23	447,01		
2024. június	105,30	82,70	4 456,23	20 120,83		0,35	-31,56	440,46		
2024. július	128,04	14,50	5 969,12	19 674,63		0,17	-6,56	445,85		
2024. augusztus	89,31	38,30	5 673,47	20 022,99	20 920,70	0,17	-7,71	445,70	461,23	-3,4
2024. szeptember	65,38	88,50	5 124,28	21 026,80	20 382,45	0,17	-6,98	467,35	455,82	2,5
2024. október	86,63	72,60	5 010,52	21 294,29	21 352,73	0,43	26,35	455,00	456,01	-0,2
2024. november	88,33	35,10	6 144,96	18 812,34		0,41	67,51	446,04		
2024. december	74,83	14,40	6 898,02	19 768,51		0,09	-12,65	462,73		
Első negyedév	260,33	89,00	14 760,93	63 430,64		0,30	34,55	1 385,05		
Második negyedév	331,36	225,30	11 112,99	65 423,71		0,86	-25,21	1 356,09		
Harmadik negyedév	282,74	141,30	16 766,86	60 724,41	60 977,78	0,52	-21,25	1 358,89	1 362,91	-0,3
Negyedik negyedév	249,79	122,10	18 053,50	59 875,15	59 933,59	0,93	81,22	1 363,77	1 364,78	-0,1

A 9. ábrán szemléletes módon látható a Hévízi-tóra felállított éves vízháztartási mérleg, illetve annak tagjai mm mértékegységben meghatározva. Ezek alapján egyértelműen látható, hogy a Gyógyfürdő tóból való közvetlen

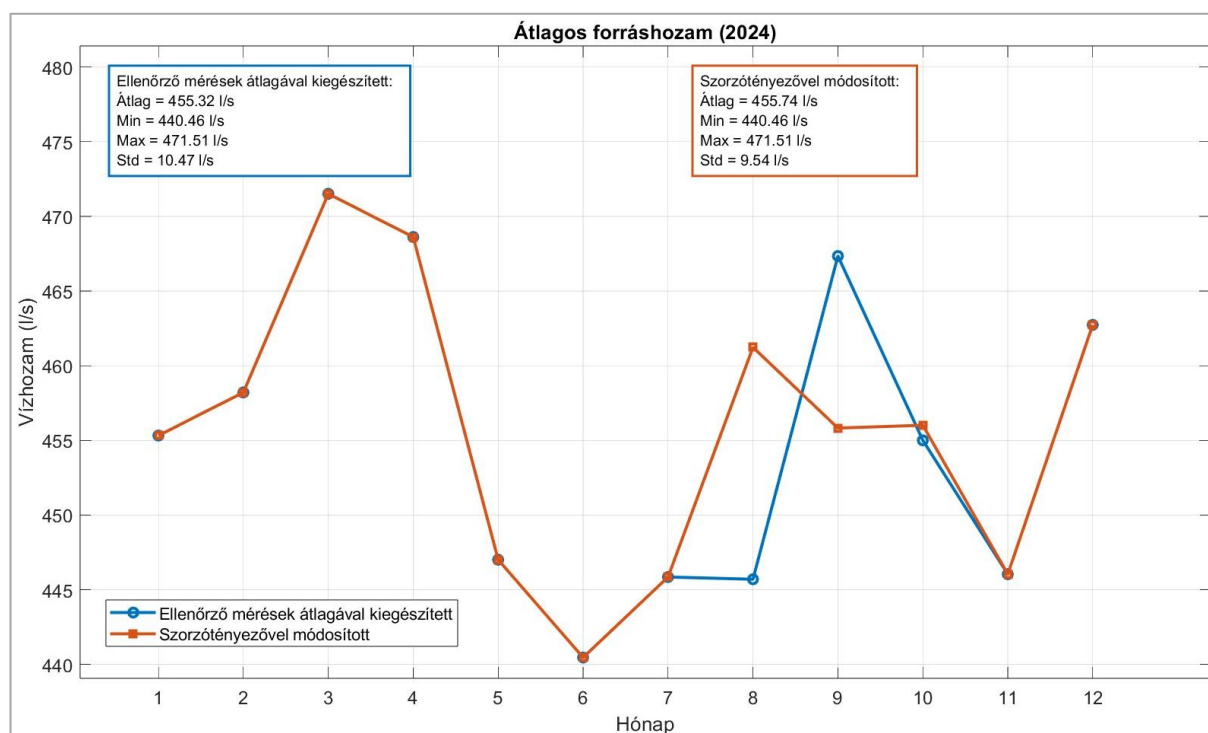
víz kivétele vízháztartási mérleg szempontjából elhanyagolható mértékű, valamint a párolgás és csapadék is sokkal kisebb nagyságrenddel szerepel, mint a forrásokból beáramló / zsílipeken elfolyó vízhozamok.



9. ábra. Hévízi-tó 2024-es vízháztartási mérlege
Figure 9. Water balance of Lake Hévíz in 2024

A 10. ábrán a kétféle módszerrel becsült havi átlagos forráshozam értékei láthatóak, alap statisztikai

paraméterekkel. Az ábra alapján a forrás hozamában szezonális mutatók mutatkozik.



10. ábra. Hévízi-tó átlag forráshozama 2024-ben
Kékkkel az ellenőrző mérések átlagával, narancssárgával a szorótényezővel módosított adatsor alapján számítva

Figure 10. Average spring yield of Lake Hévíz in 2024

With blue, calculated based on the average of the control measurements; with orange, calculated based on a data set modified with a multiplication factor.

KITEKINTÉS

A központi fürdőépület jelenlegi üzemén kívüli állapota lehetőséget teremtett a forrásbarlangból kiáramló vízsebesség közvetlen mérésére egy saját fejlesztésű, forgószárnyas áramlásmérő alkalmazásával (2. fénykép). A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék laboratóriumának felújítása miatt a mérőcsatornában való kalibrációra nem volt lehetőség. A vízrajzi szolgálat számára a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (KDVVIZIG) keretében működtetett Országos Műszerkalibrációs Labor és Vízsebességmérő Csatornájában Berke Barnabás mérnökkel (VITUKI volt munkatársa) két alkalommal több mérési tartományra kalibráltuk a műszert. A kalibrálást követően a kutatóbúvárokkal együttműködve a műszer elhelyezésre került a Hévízi-tó forrásbarlang bejáratánál,

azonban a rögzítése nem volt megfelelő, így a kalibrált műszert az áramlás elragadta. A búvárok a későbbi merülések során sem találták meg azt. Azóta a prototípus alapján egy új műszert készítettünk. Ezzel a műszerrel már megvalósultak mérések a tóban, így rövidebb időszakra rendelkezésre áll adatsor. Egy alkalommal a műszer úgy rögzítette a fordulatszámokat, hogy mellette a Déli-kifolyónál a NYUDUVIZIG munkatársaival párhuzamosan vízhozamokat mértünk. Ezen mérés segítségével egy időben ismertté válhat a tóba forrásszájon belépő és a tóból az Északi-vízlevezető csatornán, valamint a Hévíz-folyáson (Lefolyó-csatorna) elvezetett vízhozam, ehhez viszont még szükséges az új műszer utókalibrációja. Ezzel a vízhozartási mérleg eddig ismeretlen tagjának értéke közvetlenül is meghatározható volna, pontosítható lenne a felállított vízhozartási egyenlet.



2. fénykép. Saját fejlesztésű áramlásmérő kalibrációja és elhelyezése a forrásbarlang bejáratánál
Photo 2. Calibration and installation of the in-house developed flow meter at the entrance to the spring cave

Mindezek mellett a jövőben fontos lenne, hogy megfelelően dokumentálva legyenek a Déli-zsilip esetén az uszádekkevezetés miatti zsilipnyitások.

A tó és talajvíz kapcsolatának számszerűsítése zajlik, azonban ennek mértéke valószínűleg jóval kisebb, mint pl. a vízhozammérések hibái.

A későbbiek során fontosnak tartanánk, hogy létrejöjjön egy olyan rendszer, ahol a hévízi és Hévízi közeli termálkutak (szállodák, Gyógyfürdő) üzemeltetési rendje, vízkivétele nyomon követhető.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton is köszönjük a Hévízi Szent András Reumakórház és Gyógyfürdő munkatársainak és a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóságnak az együttműködésüket és az adat szolgáltatást, valamint Berke Barnabásnak, aki a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (KDVVIZIG) Műszerkalibrációs Labor és Vízsebességmérő Csatornájában segítette a sebességmérő műszer kalibrációját.

Nagy Judit Barbarát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Doktoranduszi Kiválósági Ösztöndíj Program támogatta. Torma Pétert az MTA Bolyai János ösztöndíj (00906/23) támogatta.

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

IRODALOMJEGYZÉK

Balaton Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht. (2007). Hévízi-tó átfogó tóvédelmi programja, előkészítő tanulmány. A Balaton Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht., VITUKI Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht. Magyar Állami Földtani Intézet közreműködésével. <https://doi.org/10.21862/vkkv2024.339>

Böcker T. (1975a). A nyirádi víztelenítés hatásának vizsgálata, különös tekintettel a Hévízi-tóforrásra. – VITUKI témabeszámoló III. 3.3.3.4.

Böcker T. (1975b). Változások a Dunántúli-középhegység természetes karsztvízháztartásában. VITUKI 1975. évi Tudományos Napok 2. ülésszak: A szénbányászattal kapcsolatos karsztvíz kérdések. 11 p.

Böcker T. (1978). Összefoglaló jelentés a hévízi tóval kapcsolatos kutatási tevékenységről. VITUKI 7631/1/4, Budapest, 1978.

Foken, T. (2008). Micrometeorology. Springer, Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74666-9>

Horányi Á., Sugár I. (1975). Vizsgálatok a Hévízi-tó utánpótlódási viszonyairól. Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Tudományos Szemle 1 (1), pp. 68-77.

Kádár I. (1972). Hévízi tó múltja, jelene és jövője. Hévízi tó kutatása TV-s kamerával. Kézirat, Budapest, 5 p.

Lorberer Á. (1979). Regionális vízföldtani vizsgálatok a Hévízi-tó tágabb környezetében. VITUKI III. C. 5. pp. 1-19.

Lükő, G., Torma, P., Weidinger, T. (2022). Intra-Seasonal and Intra-Annual Variation of the Latent Heat Flux Transfer Coefficient for a Freshwater Lake. Atmosphere, 13(2), 352. <https://doi.org/10.3390/atmos13020352>

Müller P. (1975). Újabb adatok a Keszthelyi-hegység és a Hévízi-tó hidrogeológiájához. Beszámoló a Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat tevékenységéről 1975 (2), pp. 153-154.

SZERZŐK



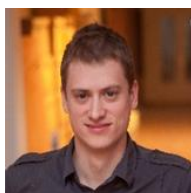
NAGY JUDIT BARBARA építőmérnöki BSc oklevelét 2021-ben, majd okleveles infrastruktúra-építőmérnöki MSc diplomáját 2023-ban szerezte a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Jelenleg az egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének doktorandusza. Kutatási tevékenységét alapképzéses hallgatóként kezdte, a Molnár János-barlanghoz kapcsolódó vizsgálatokkal. Doktori kutatásának témája a Hévízi-tó és térségének hidrogeológiai vizsgálata. A Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium kutatási asszisztense. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2022 óta tagja.



HAJNAL GÉZA 1993-ban a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) építőmérnöki diplomát szerzett, 1994-ben ugyanott okleveles mérnök-tanári képesítést kapott. 2002-ben PhD fokozatot szerzett. 2008-tól a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék docense, 2017 és 2020 között tanszékvezető volt. Fő kutatási területe a hidrogeológia és a vízmérleg-számítás. Kétszer nyerte el a Bolyai János kutatói ösztöndíjat (2004-2006, 2008-2010) hidrogeológiai tárgykörű kutatásaival. 2020-ban a Pécsi Tudományegyetemen megvédte irodalomtudományi disszertációját.



SZIEBERTH DÉNES 1997-ben szerzett vegyészmérnöki diplomát, 2000-ben PhD fokozatot. Tanulmányainak befejezése óta a BME Szervetlen és Analitikai Kémia tanszékén dolgozik, 2011 óta docensként. Eredeti szakterülete a kémiai reakciók mechanizmusának modellezése. Ösztöndíjasként kutatózott számos egyetemen (Kaiserslautern, Leuven, Antwerpen, Edinburgh, Sendai, Torino). 2014 óta érdeklődése a karsztvizek felé fordult, a vízanalítika mellett a víz alatti barlangokban végzett mérések és mintavételek, valamint az egyedi műszerek tervezése jelentik fő kutatási irányát.



TORMA PÉTER 2011-ben szerzett építőmérnök MSc oklevelet, majd 2016-ban PhD fokozatot. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékén dolgozik 2011 óta, 2019-től, mint egyetemi docens. Fulbright ösztöndíjasként a UW-Madison (USA) vendégkutatója volt a 2017/18-as tanévben. Kutatási területe a fizikai limnológia, a hidrometeorológia, különös tekintettel a víz-levegő határfelület turbulens cserefolyamatainak örvény-kovariancia elvű mérésére, a tavak hőháztartása, valamint a numerikus hidrodinamikai modellezése.

Nagy J.B., Hajnal G., Szieberth D., Torma P., Rehák A.M., Reska Sz.J. (2025). A Hévízi-tó monitoring hálózata, annak fejlesztése, kiegészítése kampányjellegű mérésekkel. Hidrológiai Közlöny 105. évf. 1. szám pp. 23-35. <https://doi.org/10.59258/hk.18347>

Reska Zs.J., (2024). A Hévízi-tó áramlási viszonyainak numerikus modellvizsgálata különböző időléptékek mentén. Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat, Budapest, konzulensek: Torma P., Hajnal G., Lükő G., Nagy J.B.

Reska, Zs.J., Szieberth, D., Anderson, J., Nagy, J.B., Hajnal, G., Torma, P., Wu C., Lükő, G. (2025). Sudden seasonal turnovers and circulation patterns in a large geothermal lake in Europe. In IAGLR 68th Annual Conference: Creating Great Lakes Resilience, pp. 195-195.

Rétvári L., Tóza I. (1998). An environmental conflict in Hungary: bauxite or medicinal water? Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 21: 1 pp. 71-74.

Szilágyi E., Takács L., Hamza I. (1984). Vízhozam sorozatmérések a Hévízi-tónál. Vízügyi Közlemények, LXVI. évf. 2. füzet pp. 230-238.

Vas Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság Katasztrófavédelmi Hatósági Osztály (2022). Hévízgyógyfürdő és Szent András Reumakórház vízellátási mélyvíz üzemeltetési engedélye

URL1. <https://www.met.hu/>

Az építményinformációs modellezés (BIM) felhasználási lehetőségei az árvíz- és belvízvédelemben

Luczó Ádám

FUTIZO Kft., 5700 Gyula, Siórét tanya 40/C. (e-mail: luczo.adam@gmail.com)

DOI:10.59258/hk.24797



Kivonat

A BIM egy 3D alapú, adatvezérelt tervezési módszer, amely az építmények teljes életciklusát (tervezés, kivitelezés, üzemeltetés) támogatja. A 31/2024. ÉKM rendelet értelmében alkalmazása állami beruházásoknál kötelező, 2035-ig pedig minden állami létesítményt – köztük a vízügyi infrastruktúrát is – utólagosan modellezni kell a hatékonyabb tervezés, kivitelezés és üzemeltetés érdekében. A XIX. század óta 300 millió köbméternyi földmunkával kiépített 4 500 km védelmi rendszer az ország területének negyedén élő 2,5 millió lakost, a termőföldek harmadát, a közlekedési hálózat jelentős részét és a nemzeti össztermelés 25%-át védi az árvizekkel szemben. A hazai belvízrendszer 46 000 kilométernyi csatornahálózattal, szivattyútelepekkel és műtárgyakkal kezeli a lefolyástalan területek belvízi kockázatát, amely az Alföld ármentesítése óta az árvízvédelemmel egyenrangú prioritás és folyamatos mérnöki feladat.

A BIM modellezés előnyei az integrált tervezési folyamat és közös adatkörnyezet, az adatkonzisztencia, az életciklus-szemlélet, a tervezési fázisban elvégezhető ütköztetésvizsgálatok. Mindezek fokozzák a tervezés, kivitelezés, üzemeltetés hatékonyságát, ezáltal idő és költség takarítható meg és javulhat a tervezés és kivitelezés minősége. BIM környezetben előállítható a jelenlegi árvíz- és belvízvédelmi rendszerünk minden részegysége: a 3D-ben készülő töltések, depóniák, műtárgyak, csatornák, infrastruktúra elemek nem csupán a geometriai méreteket és földrajzi elhelyezkedést tartalmazzák, hanem többlet információval láthatók el (pl. anyagminőségek, statikai jellemzők, vízáteresztőképesség).

Három külföldi tanulmány vizsgálatával mutatom be a BIM környezet alkalmazásának lehetőségét az árvíz- és belvízvédelemben. Az első esettanulmány a kínai Csiangszu tartomány fővárosában a Jangce folyó környezetében Green-Water Wetland komplex környezetfejlesztési projekt, ahol egy komplett új városrész kialakításával kapcsolatos zöld-kék infrastruktúra megtervezését végezték BIM szoftverekkel. A második esettanulmány a 2017-es görögországi villámárvíz vizsgálatára épülve mutatja be a Watershed-BIM módszertant, amely egyetlen 3D-s keretrendszerbe integrálja az építményinformációs és hidrodinamikai modellezést, a térinformatikát és az árvízi kockázatok meghatározását. A harmadik esettanulmány BIM eszközökkel készített előtési kockázattérkékelésére helyezi a hangsúlyt, ugyanis Lisszabon történelmi belvárosa halmozottan ki van téve a klímaváltozással kapcsolatba hozható tengerszintemelkedésnek.

Kulcsszavak

BIM, modellezés, árvíz, belvíz, kockázat, vízi létesítmény, műtárgy.

The uses of Building Information Modeling (BIM) in flood and excess water management

Abstract

BIM is a 3D-based, data-driven design method that supports the entire life cycle of structures (design, construction, operation). According to *Decree 31/2024 of the Ministry of Infrastructure and Transport*, its use is mandatory for state investments, and by 2035, all state facilities – including water infrastructure – must be modelled retrospectively for more efficient design, construction and operation.

The 4 500 km protection system, built with 300 million cubic meters of earthworks since the 19th century, protects 2,5 million residents living on a quarter of the country's territory, a third of the agricultural land, a significant part of the transport network and 25% of the gross national product against floods. The domestic inland water system manages the inland water risk of non-drainage areas with a 46 000 km excess water system, pumping stations and structures, which has been a priority on par with flood protection and an ongoing engineering task since the flood relief of the Great Plain.

The advantages of BIM modelling are the integrated design process and common data environment, data consistency, life cycle approach, and collision tests that can be performed in the design phase. All of these increase the efficiency of design, construction, and operation, thereby saving time and costs and improving the quality of design and construction. All components of our current flood and inland water protection system can be produced in a BIM environment: embankments, structures, channels, and infrastructure elements created in 3D not only contain geometric dimensions and geographical location but are also provided with additional information (e.g. material qualities, static characteristics, water permeability).

I present the possibility of applying the BIM environment in flood and inland water protection by examining three foreign studies. The first case study is the Green-Water Wetland complex environmental development project in the Yangtze River area of the capital of Jiangsu Province, China, where the design of the green-blue infrastructure related to the development of a complete new urban district was carried out using BIM software. The second case study presents the Watershed-BIM methodology, based on the investigation of the 2017 flash flood in Greece, which integrates building information and hydrodynamic modelling, GIS and flood risk assessment into a single 3D framework. The third case study focuses on the flood risk assessment using BIM tools, as the historic city centre of Lisbon is cumulatively exposed to sea level rise associated with climate change.

Keywords

BIM, modelling, flood, excess water, risk, water facility, structures.

BEVEZETÉS

A hazai ár- és belvízvédelmi rendszer műveinek kialakítása a XIX. század első felében kezdődött és építésük legnagyobb része a XX. század második felében be is fejeződött. Árvízvédelmi művek alatt alapvetően az árvízvédelmi töltéseket, depóniákat, az ezekhez kapcsolódó infrastruktúrát, műtárgyakat, folyószabályozási műveket, tározókat értjük. Belvízvédelmi művek alatt a belvízelvezető csatornákat, töltéseket, depóniákat, tározókat, műtárgyakat, szivattyútelepeket és a kapcsolódó infrastruktúrát értjük. A meglévő rendszerek zöme a Magyar Állam tulajdonában van, kezelőjük általában az Országos Vízügyi Főigazgatóság és a 12 db helyi illetékességű vízügyi igazgatóság. A folyamatosan változó környezeti körülmények és a művek általános magas életkora miatt a fenntartási, karbantartási, felújítási munkák folyamatosan zajlanak. A 2000-es évek óta új irányvonalként egyre nagyobb hangsúlyt kap az árvízvédelmi tározás, valamint a reagálóképesség és a megelőző intézkedések szerepének javítása, erősítése (Szilávik 2005).

Az utóbbi években a BIM (Building Information Modelling/management – Építményinformációs modellezés/menedzsment) használata egyre inkább teret nyer a hazai építőipari környezetben is: a 2023. évi LXIX. törvény, a 31/2024. (VIII. 22.) és a 27/2025. (VIII. 28.) ÉKM rendeletek tisztázzák az egyes építőipari szereplők feladatait, jogköreit, megalapozzák az építési beruházások intézményrendszerét, továbbá jogi, törvényi kereteket adnak az állami építési beruházásoknak, valamint tisztázzák és meghatározzák BIM szerepét az egyes építőipari szereplők és folyamatok vonatkozásában. Mivel a BIM környezet implementálása hosszú és összetett folyamat, a meglévő ár- és belvízvédelmi rendszerek egyes elemei pedig akár 100-150 évnél is régebbi létesítmények, továbbá a hazai infrastruktúra jelentős részét védik a havária helyzetektől, igen nagy jelentőségűnek tartom a BIM kiterjesztését a vízi infrastruktúra elemekre is.

A hazai vízgazdálkodási, vízepítési szakágazatban az utóbbi években kezd teret nyerni a BIM alapú tervezés és kivitelezés. Az utóbbi évek jelentősebb, BIM rendszerhez köthető vízi létesítményei az alábbiak voltak:

- Esztergom árvízvédelmi fejlesztése I. és II. ütem: a kiviteli tervek bizonyos részei 3D modellként készültek, Autodesk Revit szoftver alkalmazásával,
- Kvassay-szivattyútelep megvalósítása és a Kvassay vízerőtelep energetikai és gépészeti rekonstrukciója és fejlesztése: egyes szakági tervei 3D modellként készültek el,

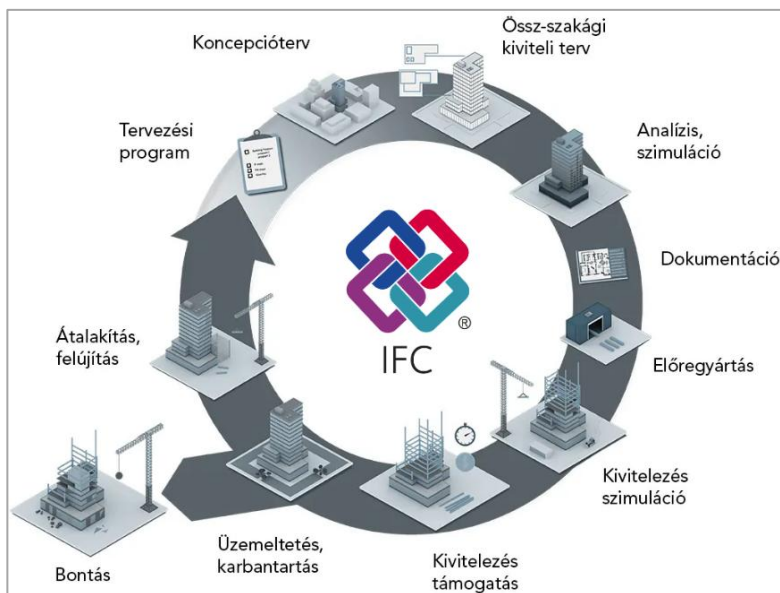
- a Mosoni-Duna torkolati szakaszának vízszint rehabilitációja: a vízszint-szabályozó műtárgy és hajózsilip egyes szakági tervei 3D modellként készültek, Autodesk Revit szoftver alkalmazásával.

A BIM fogalmának és a hazai jogi/törvényi környezetének bemutatása után taglalni fogom, hogy a jelenlegi árvíz- és belvízvédelmi tervezési, kivitelezési, fenntartási környezetben milyen módon alkalmazható az információ-menedzsment módszertana és hogy jelenleg milyen modellezhető vízi létesítményeket üzemeltetünk. Ezután - az itthoni forrásanyagok hiánya miatt - nemzetközi szakirodalom segítségével fogom bemutatni a BIM alkalmazásának lehetőségeit a már meglévő (üzemeltetési, karbantartási, helyreállítási szempontok) és a jövőben megépíteni kívánt (engedélyeztetési, tervezési, építési szempontok) árvíz- és belvízvédelmi rendszerek tekintetében.

A BIM-RŐL RÖVIDEN

A BIM fogalma egy digitális, objektum-alapú tervezési és információkezelési módszertan, amely egy háromdimenziós (3D) modell köré szervezve integrálja az építmény geometriai, műszaki, üzemeltetési adatait és leggyakrabban az építmény (ami lehet akár épület, infrastruktúra elem stb.) teljes életciklusára vonatkoztatható. A BIM nem pusztán egy 3D-s modell, hanem egy adatbázis, amely minden építési elemhez (fal, nyílászáró, gépészeti berendezés, vagy jelen esetben földmű, burkolat stb.) hozzárendeli a hozzá tartozó információkat – anyagtulajdonságokat, költséget, gyártói, karbantartási, jótállási adatokat. Mérnöki szempontból fontos, hogy a BIM alapú tervezés és kivitelezés szemlélete:

- integrált tervezési folyamatot tesz lehetővé: az egyes tervezési szakágak és más szereplők részére közös tervezési, megosztási, kommunikációs platformot biztosít,
- adatkonzisztens: a modell minden változása azonnal, automatikusan frissül, nyomon követhető a módosító személye, a módosítás, jóváhagyás ideje stb.,
- életciklus-szemléletet alkalmaz: a BIM modellek nem csak a tervezést és kivitelezést, hanem az üzemeltetést és akár a felújítást, átépítést, bontást is követhetővé teszik,
- biztosítja az egyes szereplők közötti koordinációt és ütközésvizsgálatok elvégzését: a különböző szakági tervek közötti interferenciák automatikusan felismerhetők,
- növelheti a kivitelezés munkabiztonságát, csökkentheti a munkabalesetek számát,
- segíti a kivitelezés költségoptimalizációját, csökkentheti a kivitelezés költségeit.



1. ábra. A BIM életciklus ábrázolása (URL1)
Figure 1. Representation of BIM lifecycle (URL1)

A 31/2024. (VIII.22.) ÉKM rendelet értelmében az Európai Unió közbeszerzési értékhatárt meghaladó becsült összegű állami beruházásoknál kötelezővé válik a BIM-alapú tervezés és műszaki megvalósítás, mely az alábbi ütemezésben fog bővülni:

- 2024.09.21-től a magasépítésben és útéépítésben (jelenleg is hatályos),
- 2026.07.01-től a vasútéépítésben,
- 2027.07.01-től a vízépítésben,
- 2028.07.01-től a közműépítésben is bevezetésre kerül.

Továbbá a rendelet értelmében 2035. december 31-ig minden, a magyar állam tulajdonában álló és BIM modellel nem rendelkező létesítmény esetében az építményinformációs modellt utólag is létre kell hozni. Jelenlegi értelmezésünk szerint ez érinti az állami árvíz- és belvízvédelmi művek túlnyomó többségét is, beleértve:

- az árvízvédelmi töltéseket,
- alacsonyabb rendű árvízvédelmi vonalakat, depóniákat,
- egyéb kapcsolódó vonalas létesítményeket (fenntartási, közlekedési utak, távközlés, közművek stb.),
- kapcsolódó épületeket (gátórházak, védelmi központok, raktárak stb.),
- árvízvédelmi tározókat és az ezekhez kapcsolódó egyéb létesítményeket, műtárgyakat,
- különböző műtárgyakat (duzzasztóművek, folyószabályozási művek, zsilipek, tiltók, hallépcsők, hajózsilipek stb.),
- monitoring eszközöket (vízállás-, vízhozam- és vízminőségmérő helyek),
- mesterséges hajóutakat, kikötőket, stégeket, partfalakat, mólókat, jelzéseket,

- belvízcsatornákat és az azokhoz kapcsolódó vonalas létesítményeket (töltések, depóniák, egyéb infrastruktúra),

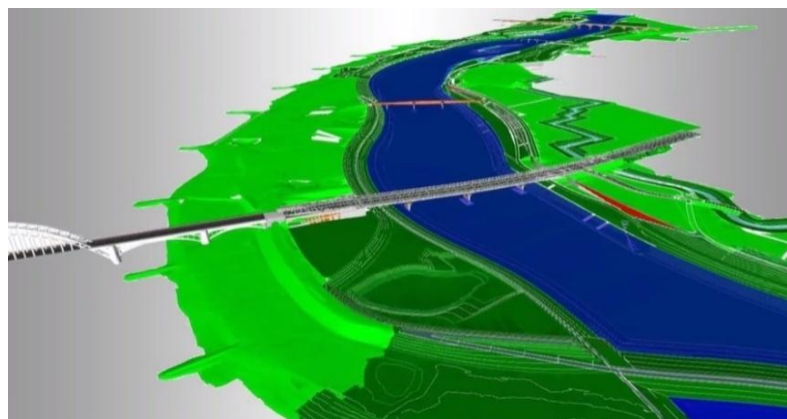
- szivattyútelepeket a kapcsolódó épületekkel és infrastruktúrával,

- provizórikus létesítményeket (szivornyák, ideiglenes csővezetékek, szivattyúállások).

A BIM FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGE AZ ÁR-ÉS BELVÍZVÍZVÉDELEMBEN

A hazai ár- és belvízvédelmi, folyószabályozási és általánosságban a vízgyűjtő-gazdálkodási gyakorlatot közepes digitalizáltság jellemzi. Vízgazdálkodási szempontból jelenleg leginkább a vízrajzi és hidrometriai tevékenységek köthetők a digitálisan használt platformokhoz. A hazai vízrajzi tevékenység 1886-ig nyúlik vissza. Az 1980-as évek óta folyamatosan nő a digitalizáltság, ami jelenleg is a vízügyi információs rendszer gerincét képezi. Jelenleg mintegy 8 000 vízrajzi állomás (kiegészülve a HungaroMet Zrt. 141 db hidrometeorológiai állomásával) üzemeltetése, fenntartása és folyamatos fejlesztése folyik (OVF 2026).

Az Európai Parlament és az Európai Tanács 2007/60/EK Irányelve minden tagország számára egységesen és kötelezően szabályozza az árvízi kockázatok és azok kezelésének témakörét. Az irányelv végrehajtásával kapcsolatos feladatokat, teendőket a 178/2010. (V. 13.) Korm. rendelet írja elő. Ennek értelmében előzetes kockázatbecsléseket, árvízi veszély- és kockázati térképeket, valamint árvízi kockázatkezelési tervet kellett készíteni, melyek alapján a meglévő kockázatok csökkentésére hozandó intézkedési tervet kellett készíteni.



2. ábra. Vízi infrastruktúra BIM modellje (URL2)
Figure 2. BIM model of water infrastructure (URL2))

A hazai árvízvédelmi rendszer a folyók szabályozásával és jellemzően földtöltések építésével alakult ki. Magyarországon a különböző vízfolyások hossza kb. 2 800 km (folyók, patakok, erek, szabályozott vízfolyások). Az elsőrendű védvonalak hossza kb. 4 500 km, melyből az épített művek (töltések, árvízvédelmi falak) hossza kb. 4 157 km. Az épített művekből mintegy 3 408 km hosszan, átlagosan mintegy 1,0 m magassági hiány van. A másodrendű vonalak hossza mintegy 770 km, ami jellemzően földgátakból, depóniákból álló lokális építmény, pl. települési körtöltés. Ehhez a XIX. század első fele óta mintegy 300 millió m³ föld került megmozgatásra, beépítésre. A hazai árvízvédelem fontosságát jól mutatja, hogy a fenti hosszúságú védvonal az ország teljes területének mintegy egynegyedét (21 207 km²) védi az árvízi elöntésektől. Ezen a területen 670 településen mintegy 2,5 millió ember él, itt található a megművelhető földterületek közelítőleg egyharmada, a vasutak 32%-a, a közutak 15%-a, valamint az egész ország bruttó termelési értékének 25%-a (ÁKT 2021).

A belvíz elleni védekezés a hazai vízgazdálkodás egyik legfontosabb specifikuma, mivel Magyarország területi érintettsége európai szinten is egyedülálló. Az Alföld 19. századi szisztematikus ármentesítése alapjaiban írta felül a térség vízháztartását: a gátak kiépülésével a belvízkezelés hamarosan az árvízvédelemmel egyenrangú prioritássá vált. A korábban elöntött területek sajátos adottságai – így a kedvezőtlen domborzati viszonyok, a talajszerkezet és a hidrológiai környezet – ugyanis különösen kedveznek a belvizek kialakulásának, állandó mérnöki feladatot adva a szakembereknek. Hazánk területének mintegy 45%-a síkság, aminek kb. 60%-át veszélyeztetett jelentős mértékű belvízi elöntés. A belvizek elvezetésére jelenleg 589 db szivattyútelep (988 m³/s összekapacitással), valamint 1 719 db vízkormányzó műtárgy, 370 db kiépített szivattyúállás, további 200 db provizórium (összesen 170 m³/s kapacitással) áll rendelkezésre. A belvízcsatornák összes hossza Magyarországon jelenleg kb. 46 000 km, aminek több mint 50%-a a 12 vízügyi igazgatóság kezelésében van (Szlávik 2018).

Modellezhető ár- és belvízvédelmi létesítmények

A BIM környezetben gyakorlatilag minden olyan építőmérnöki létesítmény modellezhető, aminek geometriai, műszaki jellemzői, valamint üzemeltetési információtar-

alma fontos lehet a tervezés, kivitelezés, fenntartás időszakában. Ár- és belvízvédelmi létesítmények esetében ezek különböző műtárgyakat, vízi- és közműlétesítményeket, infrastruktúra elemeket, geotechnikai elemeket jelentenek.

Töltések: A töltések tervezését megelőzően a területről digitális terepmodellt kell készíteni, ami földi, légi vagy űrből történő mérési eljárásokkal, pont/pontfelhő, felületmodell, vektoros modell vagy 2D/3D modellezési módszerekkel történik. Napjainkban egyre inkább előtérbe kerülnek a fotogrammetrikus, illetve LIDAR (Light Detection and Ranging - Lézer alapú távérzékelés) alapú terepfelmérési módszerek is. Az így előállított 3D-s terepmodellre vonalas létesítményként tervezhető be a töltéstest (legtöbbször parametrikus tervezési módszerrel). Alapvető lépései a kiindulási terepmodell előállítása, humusztmentes alapsík meghatározása (ennek terepszint alatti mélységét a talaj összetétele határozza meg), mintakeresztszelvények meghatározása (a viszonyítási sík minden esetben a folyószakaszra vonatkoztatható mértékadó árvízszint és a biztonsági magassági tényező által meghatározott töltéskoronaszt), majd a töltéstest létrehozása. A töltésbe beépítendő földanyag mennyiségét a koronaszt, a mintakeresztszelvény geometriája és a töltésalapozási sík magassága határozza meg.

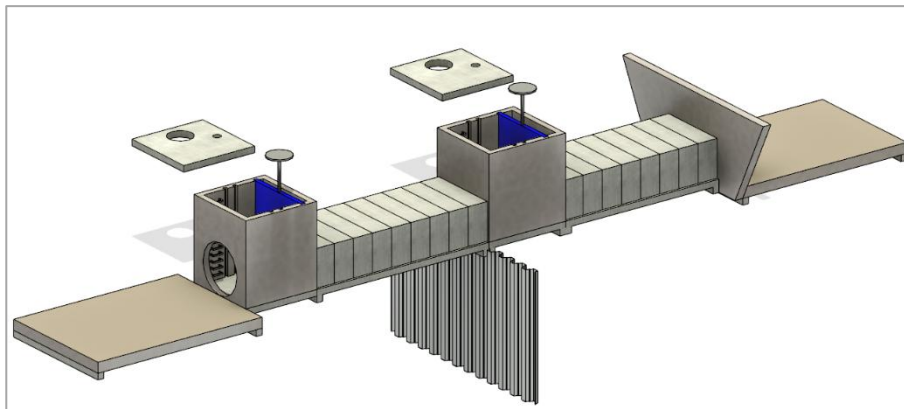
A töltések tervezése során az alábbi hossz- és keresztirányú, valamint pontszerű létesítmények igényét kell figyelembe venni: a töltéstestet kiegészítő, védelmi képességet fokozó, szivárgásgátló elemek, pl. résfalak, támfalak, szádfalak, burkolatok, köszórás, töltésszivárgó, megtámasztó bordák, ellennyomó medencék. Ezen kívül előfordulhatnak a töltéshez kapcsolódó útburkolatok (pl. stabilizált, szórt, vasbeton, ritkábban aszfalt), keresztező infrastruktúra elemek (pl. utak, vasutak, hidak, közműkeresztezések, távközlő vezetékek, kulisszanyílások, átereszek, bűjtatók, zsilipek, egyéb nagyműtárgyak stb.), a töltés kiegészítő tartozékai (pl. sorompók, rámpák, vízrajzi vagy meteorológiai monitoring eszközök és azok alépítményei, telekhátár, földmérési pontot vagy töltésszelvényt jelző kövek, rézsűlépcsők). A műtárgyak, infrastruktúra elemek tervezésébe gyakran szükséges szakági munkatárs bevonása is (pl. statikus, gépész vagy úttervező mérnök): a BIM szemlélet egyik legnagyobb erőssége éppen az egyes részterületek fokozott integritásának biztosítása.

A BIM-alapú modellezés lehetővé teszi a töltések összetett, réteges szerkezetének részletes, paraméteres ábrázolását, amelyben minden réteg (pl. agyagmag, szemcsés fedőréteg, szivárgó, szivárgásgátló fal) független geometriai és anyagtulajdonságokkal van ábrázolva. Az így létrejövő digitális modell integrálja a geotechnikai vizsgálatok paramétereit, mint például a kohéziót, a belső súrlódási szöveget és a vízáteresztő képességet. Ez az adatgazdag környezet közvetlen kapcsolatot biztosít a numerikus elemzésekkel, különösen a rézsúállékonyági és szivárgási vizsgálatokkal. A BIM és a geotechnikai számítási eszközök integrációja csökkenti az adatvesztés és a modellezési hibák kockázatát, miközben támogatja az iteratív tervezési folyamatokat.

Kivitelezői szempontból vizsgálva a BIM alapú töltés-építés további előnye lehet a töltéskubaturá folyamatos figyelemmel kísérésének lehetősége, ezáltal a beépítendő föld mennyiségének kontrollálása, valamint az ehhez kapcsolódó költségvonzatok monitorozásának lehetősége. Fontos lehet még a meglévő közművezetékek (pl. magasfeszültségű légvezetékek, gázvezetékek) védőtávolságainak ismeretében ütközésvizsgálatok lefuttatása. A tervezés során kialakított 3D-s térmodell automata gépvezérléssel rendelkező földmunka gépláncra (dózer, szkréper, gréder, kotró) adaptálható, ami rövidítheti a kivitelezés idejét, csökkentheti a költségeket és minimalizálja a hibás teljesítés lehetőségét.

Műtárgyak: A BIM alapú műtárgy- és építménytervezés, valamint a 3D modellalapú kivitelezés a mennyisé-

gekre és költségekre vonatkozó kimutatásokon túl megkönnyítheti az olyan bonyolult, összetett segédstruktúrák tervezését, mint pl. egy monolit vasbeton szivattyútelep vagy egy akár több m magas, tagolt felületű monolit vasbeton duzzasztómű, ahol több száz m³ vasbeton is beépítésre kerülhet és több ezer m² felület zsaluzására és állványozására is szükség lehet. Ezek felül legtöbbször szükség van kiegészítő alapozási, statikai, betonacél-szerelési, épületgépészeti, villamosenergia-ellátási, irányítástechnikai, távfelügyeleti, monitoring szakági tervezésre is. Főleg nagyobb, összetett építmények, műtárgyak esetében a hagyományos, 2D-ben történő tervezés ugyan gyorsabbnak tűnik, mégis több hibalehetőséget rejthet. BIM környezetben a geometriai jellemzőkön kívül minden modellelem információval is rendelkezik (pl. anyagminőség, szilárdság, vízszigetelő-képesség stb.) és az elemek térben vannak elhelyezve, így az egyes elemek összemetszése (ütközése) már a tervezés fázisában kiszűrhető és javítható. A 3 dimenzióban történő modellezés jelentősen megkönnyíti a térben történő gondolkodást, így a tervezési hibák száma minimalizálható, emellett jelentősen javítja a tervezett műtárgy megjelenítését. A BIM környezetben tervezett létesítmények mennyiségi kimutatásai a modellből automatikusan kinyerhetők és folyamatosan frissülnek a modell módosítása során, így a pontos mennyiségek és hozzájuk rendelt költségek napra készen követhetők. Az egyes tervváltozatok főbb mennyiségi mutatói (pl. beton m³, betonacél tonna, zsaluzás m²) gyorsan és pontosan kinyerhetők, így döntéstámogatásra is kiválóan felhasználhatók.



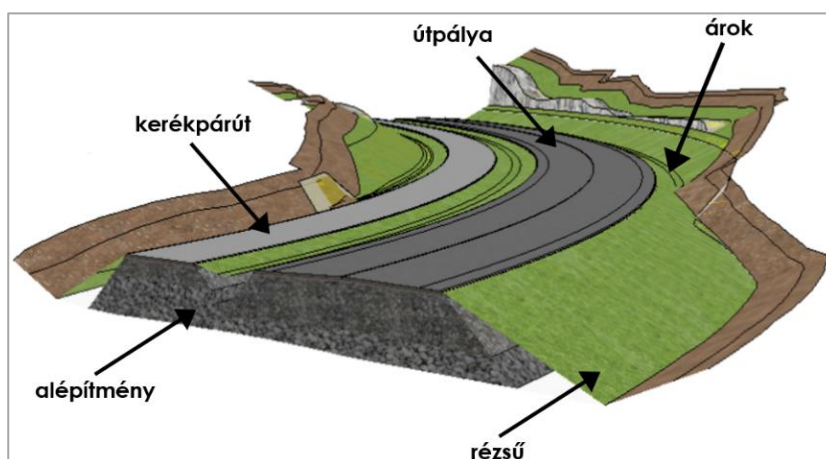
3. ábra. Egyszerű keretelemes tiltós műtárgy BIM modellje (saját képernyőfotó)
Figure 3. BIM model of a simple twin box culvert structure with sluice gate (own screenshot)

Mivel egy ár- és belvízvédelemhez kapcsolódó műtárgy vagy létesítmény tervezése során több szakági tervezőnek is együtt kell dolgoznia (pl. építész, statikus, gépész, elektromos tervező, de sok esetben akár földmérő, ingatlanrendező vagy geotechnikai tervezőmérnök), kiemelt fontosságú a BIM környezet multidiszciplináris megközelítése. Mivel minden tervező ugyanabban a modellben dolgozik, az ütközések, összeférhetetlenségek, geometrikus hibák már a tervezés fázisában kiderülnek, amivel időt és költséget lehet megtakarítani. A modell módosítása automatikus, bármilyen alaprajzi, metszeti vagy konszignációt érintő változás azonnal megjelenik a modell összes felhasználójánál. A BIM életciklus-szemlélete azt jelenti, hogy a modellalapú környezet nem csak a tervezés, hanem

a kivitelezés, a fenntartás/üzemeltetés, a felújítás és a bontás időszakában is felhasználható. A tervezett műtárgy/építmény kivitelezése közben a modell az aktuális készültségnek megfelelően frissítésre kerül, így nyomon követhető az előrehaladás, a tervtől való eltérés és rögzíthető a megvalósult állapot. Az üzemeltetés és fenntartás időszakában a legnagyobb hozzáadott értéket az jelentheti, hogy az üzemeltetőnek egyértelmű információi lesznek arról, hogy az egyes modellelemek mikor, milyen anyagból, milyen minőségben készültek, mikor voltak ellenőrizve, milyen hibákat rögzítettek, a hibák javítása megtörtént-e. Ez segíti az állapotfelmérést, a karbantartások és javítások idő- és pénzbeli ütemezését.

Egyéb infrastruktúra elemek: Hazánkban jelenleg a meglévő töltések túlnyomó többsége nem rendelkezik stabil burkolattal, egy részük szórt útalappal stabilizált, míg a maradék rész valamilyen szilárd burkolattal (beton, vasbeton, „stabilizer”, itatott aszfalt vagy aszfaltbeton) van el látva. A töltéskorona burkolat típusát az határozza meg, hogy mekkora forgalmi terhelés várható a töltésen, az milyen típusú járművekre vonatkozik és hogy milyen messze van a legközelebbi szilárd burkolatú úttól. Főleg az alföldi területeken sok helyen találkozhatunk a kerékpáros közlekedést lehetővé tevő aszfaltburkolattal (pl. a Tisza-tó körüli Tisza töltésszakaszokon kerékpáros túraútvonal van kialakítva). Az útpálya hosszirányú tengelye legtöbbször a töltés hosszirányú tengelyéhez illeszkedik, így parametrikus tervezési módszerrel gyorsan és időtakarékosan illeszthető az előzetesen tervezett töltéstre a tervezett útpályaszerkezete. Ugyanez igaz a vasútvonalak tervezésére is, azzal a különbséggel, hogy a vasúti pályaszerkezetek műszakilag eltérő pályaszerkezettel és vonalvezetési paraméterekkel kerül megtervezésre. Utak, vasutak esetében a pályaszerkezetek rétegrendjeinek minden egyes része (pl.

homokos kavics fagyvédő réteg, zúzottkő útalapréteg, különböző geomóanyagok, szivárgórétegek, aszfaltrétegek, szegélyek, padkák) külön modellelemként kerülnek betervezésre. Az egyes modellelemek a geometriai jellemzőiken kívül további adattartalommal rendelkeznek (pl. k-tényező, testsűrűség vagy akár anyagköltség), így a modell a dinamikus változó mennyiségi kimutatásokon kívül egyfajta adatbázisként is használható a létesítmény teljes életciklusában. A hidak esetében fokozott jelentőséggel bírhat a BIM környezet alkalmazása, mivel a hidak tartószerkezetét, útpályáját, alapozását, forgalomtechnikáját is külön szakemberek tervezik, akik között kiemelten fontos a szoros együttműködés. A módszer támogatja a statikai és dinamikai analízisek összekapcsolását a 3D modellel, ezáltal pontosabb méretezés és viselkedésvizsgálat végezhető. A töltéseket és egyéb létesítményeket keresztező, érintő közműelemek (ivóvíz-, szennyvíz-, gázvezetékek, elektromos földkábelek, védőcsövek) esetében a BIM környezet legfőbb előnye a tervezési fázisban futtatható ütközésvizsgálatok és az infrastruktúra elemek statikai modellbe történő integrálása.



4. ábra. Egyszerű útpálya BIM modellje (URL3)

Figure 4. BIM model of simple road (URL3)

A vízgyűjtőterületek és hullámterek rendezése, hidrodinamikai modellezés: A BIM-alapú megközelítés a vízgyűjtőterületek és hullámterek árvízvédelmi célú rendezésében lehetővé teszi a különböző térbeli és tematikus adatok – például domborzat, felszínborítás, talajtani és hidrológiai jellemzők – integrált, egységes modellkörnyezetben történő kezelését. A módszer elősegíti a hidrológiai és hidrodinamikai modellek összekapcsolását a háromdimenziós térmodellel, ezáltal pontosabb árhullám-lefolyási és elöntési szimulációk végezhetők. A parametrikus modellezés révén hatékonyan vizsgálhatók a különböző beavatkozási alternatívák, például tározók kialakítása, mederszabályozás vagy hullámtér-rendezés hatásai. A BIM támogatja a területhasználati változások és a klímaváltozási hatások komplex elemzését is, különös tekintettel a szélsőséges hidrológiai események gyakoriságának növekedésére. Az integrált adatkezelés és megjelenítés javítja a döntéshozatali folyamatok átláthatóságát, valamint a különböző szakterületek közötti együttműködést. Emellett lehetőséget biztosít a projekt teljes életciklusának nyomon követésére, beleértve a kivitelezést és az üzemeltetést is. Mindezek

eredményeként a vízgyűjtő- és hullámtér-rendezési beavatkozások tervezése megalapozottabbá, hatékonyabbá és hosszú távon fenntarthatóbbá válik.

A BIM és az árhullám-lefolyási, valamint elöntési modellek közötti kapcsolat az egységes adatkezelésen és a modellek közötti átjárhatóságon alapul. A BIM környezet biztosítja a nagyfelbontású terepmodellek, medergeometriák és infrastruktúra-elemek adatbázisát, amely közvetlen bemenetként szolgálhat hidrodinamikai szimulációk számára. Az árhullám-lefolyási és elöntési modellek eredményei – például vízmélység, áramlási sebesség és elöntés kiterjedés – visszacsatolhatók a BIM modellbe, ezáltal támogatva a vizuális és kvantitatív értékelést. Ez az iteratív adatcsere lehetővé teszi különböző tervezési alternatívák összehasonlítását és optimalizálását. Ennek eredményeként pontosabb kockázatelemzés és megalapozottabb árvízvédelmi döntéshozatal valósítható meg.

A BIM-alapú megközelítés a belvízvédelemben lehetővé teszi a vízelvezető rendszerek – így a csatornahálózatok, tározók és szivattyútelepek – integrált, adatgazdag modellezését egységes digitális környezetben. A módszer

támogatja a hidrológiai és hidraulikai modellek összekapcsolását a geometriai és üzemeltetési adatokkal, ezáltal pontosabb lefolyási és tározási szimulációk végezhetőek. A parametrikus modellezés révén hatékonyan vizsgálhatók különböző beavatkozási alternatívák, például kapacitásbővítés vagy hálózat-átalakítás hatásai. A BIM elősegíti a térbeli koordinációt és az ütközésvizsgálatokat, különösen összetett, több közművet érintő környezetben. Emellett lehetőséget biztosít az üzemeltetési folyamatok és karbantartási igények előrejelzésére, támogatva a hosszú távú infrastruktúra-menedzsmentet. Az integrált adatkezelés és megjelenítés javítja a döntéshozatal átláthatóságát és a különböző szakterületek közötti együttműködést. Mindezek eredményeként növelhető a belvízvédelmi rendszerek hatékonysága, csökkenthetők a kockázatok, valamint elősegíthető a fenntartható és gazdaságos üzemeltetés.

BIM AZ ÁRVÍZVÉDELEMBEN: NEMZETKÖZI ESETTANULMÁNYOK

Mivel hazánkban a BIM alapú tervezés és kivitelezés - főként a vízgazdálkodási és közműépítési ágazatokban - még nem terjedt el, ezért külföldi szakirodalmi források alapján mutatom be az építményinformációs modellezés ár- és belvízvédelmi célú lehetőségeit. Nyugat- és Észak-Európában, valamint a tengerentúlon és Kínában évtizedek óta nagy hangsúlyt fektetnek az építőipar digitalizációjára, így ezekről a területekről már lényegesen több tapasztalat áll a rendelkezésre, ami akár a hazai viszonyok között is sikeresen alkalmazható lehet.

Kína, Jangce folyó, Nanking, komplex környezetfejlesztési projekt

Kína Csiangszu tartományának fővárosában a Jangce folyó környezetében Green-Water Wetland komplex környezetfejlesztési projekt valósult meg. A fő feladat a közeli halastó és vizes élőhely állapotának revitalizálása, az erdős-fás területek állapotának helyreállítása és a teljes vizes élőhely tájképének javítása. A BIM technológia konkrét alkalmazásai a következők voltak:

- gyors és hatékony kommunikációs platformot biztosított az építési időszakban részt vevő összes partner számára, továbbá GIS és egyéb digitális technológiák alkalmazását tette lehetővé,
- az Autodesk Revit és az Autodesk Civil 3D szoftvereket az egyes tervváltozatok előnyeinek és hátrányainak a megjelenítéséhez használták,
- a tervezési inputadatok előfeldolgozási hatékonysága jelentősen javult, ami megalapozta a későbbi digitális analóg adatelemzést,
- a Kistler Mars szoftvert használták a tervséma valós idejű megjelenítéséhez, a különböző tervváltozatok összehasonlításához, a döntéstámogató vizualizációk előállításához.

A projekt fő célja az volt, hogy az újonnan kialakítani kívánt Jiangbei városrész építése a természeti környezet állagának lehető legnagyobb mértékű megővásával történjen meg. Ennek egyik projektjele volt a Green-Water Wetland vizes élőhely komplex környezetfejlesztése. A projekt a Jangce folyó 23 km hosszú szakaszán valósult meg és szervesen ötvözi a városi árvízvédelmet, a vizes élőhelyek védelmét és a környezet javítását. A projekt egy

vízmeztartásra törekedő, hidrofil tájat hoz létre a lakosság igényeinek megfelelően. A projekt átfogó korszerűsítési módszert alkalmaz, amely a partvonal megtisztítását, a hullámtér és folyópart rendezését és a vizes élőhelyek karbantartását foglalja magában a Jangce folyó partvonalának hosszú távú és fenntartható védelme érdekében.

A projekt fő tervezési feladata a halastavak vizes élőhelyként való visszaállítása, valamint a halastavak, vízterek és vízpartok rendezése az élőhelyek létrehozásának, a vízrendszerek összekapcsolhatóságának és a vízi-szárazföldi közlekedés követelményeinek megfelelően. A biológiai sokféleség és a környezetbarát követelmények teljesítése érdekében a teljes vizes élőhelyet helyreállították és parkosították. A környezeti hatások csökkentése érdekében a projekt keretében végzett földmunkáknál törekedni kellett a földgyensúly megtartására. Egy hasonló nagyságú tervezési feladatnál a nagy tervezői munkaterhelés, az alacsony hatékonyság és az elégtelen minőségellenőrzés jelenti a legnagyobb kihívást. A projekt tájépítészeti követelményei viszonylag magasak voltak: a hagyományos tervezési módszerekkel nem lehet valós időben ellenőrizni a tervváltozatok hatását, és nem lehet hatékonyan és időben kommunikálni a kivitelező féllel. Ezért különösen fontos volt a modern technológiák, például a BIM és a GIS aktív alkalmazása a projektben. A DOM (Digital Orthophoto Map/Orthophoto Model - Digitális ortofotó térkép/modell) és DEM (Digital Elevation Model - Digitális terepmodell) adatokból generált 3D digitális modellek segítségével a helyszíni alapinformációk intuitívan és pontosan megadhatók voltak. A 3D digitális modellek és az elemzési modellek közötti adatinterfész megnyitásával a hagyományos elemzési modellek előfeldolgozási munkaterhelése jelentősen csökkent, miközben az alapadatok minősége javult.

Mivel a kiindulási állapotok nem tették lehetővé a részletes földi felmérést, ezért a komplex 3D-s terepmodell elkészítéséhez légifotókat és távirányítású mérőhajókat használtak. A helyszíni digitális ortofotó térkép (DOM), a digitális domborzatmodell (DEM) és a víz alatti terepadatok összegyűjtése és feldolgozása után az Autodesk RECAP és a Context Capture szoftvereket használták az adatok azonos koordináta-rendszerben történő egyesítésére. Az adatfúzióval létrehozott háromdimenziós valós területmodell segítségével megvalósítható a terület digitális bejárása és barangolása, valamint a magasság, a távolság és a terület mérése. A modell egymásra helyezése után bármely pozícióban megvalósítható volt a keresztmetszetek generálása. A digitális domborzatmodellt és a víz alatti terepadatokat közvetlenül az AutoCAD Civil 3D-be importálták az eredeti terepfelszín létrehozásához. Az eredeti terep alapján elkészítették a vízhálózat elrendezését és a vízi-szárazföldi közlekedés tervezését. Ugyanakkor figyelembe vették a vizes élőhelyek létrehozásához, a nyitott és zárt vízfelületek módosításához, valamint a mesterséges feltöltések, hidak, patakok, szigetek és töltések létrehozásához szükséges igényeket.

A teljes területmodell megtervezésének és létrehozásának befejezése után az AutoCAD Civil3D szoftver magasságelemzési funkcióját használták az elárasztott és félig elárasztott területek elemzésére. Megjelenítették az elárasz-

tott és a nem elárasztott területek közötti dinamikus kapcsolatot, így bemutatva a növényzet vízigényeinek kielégítését. Ugyanakkor a Jangce folyó védelmének követelményei alapján a projektterületen el kell érni az egyes részterületeken a földmunkák alapvető egyensúlyát, valamint a teljes projektterületen belül a földmunkák teljes egyensúlyát. A térfogatpanel funkcióval gyorsan kiszámították az egyes részterületek és a teljes terület bevágási és feltöltési térfogatát, ami nemcsak az építési követelményeknek felelt meg, hanem csökkentette a projekt beruházási költségeit is. A területmodell alapján gyorsan meghatározható volt a vízi közlekedés tervezéséhez szükséges keresztmetszet. Az Autodesk Subassembly Composer segítségével parametrikusan megtervezhető az útszakasz és a terepfelület közötti logikai kapcsolat, majd az AutoCAD Civil 3D-ben tervezett nyomvonal alapján gyorsan létrehozható az útmodell, és gyorsan generálhatók a mérnöki mennyiségek és 2D-s rajzok. Ez a projekt magas követelményeket tá-

masztott a régió hidrodinamikai és vízminőségi viszonyával szemben, ezért a hidrodinamika, a vízminőség és a vízmélység ellenőrzése és elemzése elengedhetetlen és különösen fontos volt.

A projektterületen számos tervezett sziget található, a vízrendszer egyes elemei (csatornák, medrek, vonalas létesítmények, infrastruktúra-elemek) keresztezik egymást, a mély mederrészek és zátonyok sűrűn találhatók, ami nagy nehézségeket okoz a modellezés, az elemzés és az ellenőrzés során. A különböző vízszintekhez tartozó szárazföldi vetületi vonalak megtalálására az AutoCAD Civil 3D felületi szuperpozíció módszerét alkalmazták, ami jelentősen javította a hatékonyságot, és alapvető támogatást nyújtott a következő lépésben a modelloptimalizálásban. Az egyes vízrendszerek átjárhatósági problémájának megoldása érdekében több hidat és átereszt létesítettek a projektterület hidrodinamikai és vízminőségi viszonyainak javítása érdekében.



5. ábra. A tervezett vizes élőhely renderelt látványterve (Huang és társai 2023)

Figure 5. Rendered visual design of the planned wetland (Huang és társai 2023)

A BIM, a GIS és a légifotózás technológiájának ötvöztetésével a tervezett táj terepét és a meglévő környező terepet egyestítették. A Kistler Mars valós idejű renderelési platformjára több forrásból származó heterogén adatok, például az ortofotók és a BIM modellek betöltésével a különböző tervváltozatokhoz tartozó látványterveket állítottak elő. A szoftver 3D vizuális növényzettervező modulja lehetővé teszi az intuitív módon történő tájépítészeti tervezést, ami leegyszerűsíti a döntéshozatalt, valamint csökkentheti a változtatásokat az építés későbbi szakaszában. A növényinformációs modellen keresztül gyorsan ellenőrizhetők a növények családjára, nemzetiségére, ökológiai szokásaira vonatkozó információk, valamint az is, hogy a fafajokat a növény élőhelyének típusa szerint ésszerűen választották-e ki. A modul használatával a fa paramétereit, mint például a növénymagasság, a korona szélessége és a mellmagassági törzsátmérő, kényelmesen beállíthatók. A scénáriókban elrendezett tájnévények könnyen MS Excel fájlba exportálhatók egy részletes erőforráslistával. A program látványtervkészítő modulja lehetővé teszi, hogy az elkészült modellt különböző időjárási helyzetekben és eltérő napszakokban ábrázoljuk (pl. napos, borult, esős, havas időben éjszakai mesterséges megvilágítás, vagy nappali természetes fényben) (Huang és társai 2023).

Görögország, Mandra, villámárvizekkel kapcsolatos modellek

A városi árvizek egyre növekvő globális problémát jelentenek, különösen a gyors urbanizációval, szabályozatlan városi terjeszkedéssel és éghajlatváltozással terhelt területeken. A hagyományos árvízmodellezési megközelítések nem ragadják meg hatékonyan a természetes vízgyűjtő viselkedés és a városi infrastruktúra közötti komplex dinamikát; jellemzően elszigetelten szimulálják ezeket a területeket. A Watershed-BIM módszertan egy háromdimenziós szimulációs keretrendszer, amely egyetlen rendszerbe integrálja az építmény- és településinformációs modellezést (CIM - City Information Modelling), a földrajzi információs rendszereket (GIS), az árvíz kockázat-értékelést (FRA - Flood Risk Assessment) és az árvíz kockázat-kezelést (FRM - Flood Risk Management). A fejlesztés során az Autodesk InfraWorks 2024, az Autodesk Civil 3D 2024 és a RiverFlow2D v8.14 szoftvereket integrálták egy közös modell-környezetbe. A módszertan javítja az egyes szakágak közötti együttműködést és az előrejelzés pontosságát azáltal, hogy a hidrológiai folyamatokat részletes városi léptékű adatokkal egészíti ki. A keretrendszert egy valós villámárvízi eseményen tesztelték a görögországi Mandrában, egy olyan területen, amely gyakran ki van téve a szélsőséges

esőzéseknek és villámárvizeknek. A megfigyelt árvízi jellemzőkkel való konkrét összehasonlítás más hidrológiai elemzésekhez [pl. USACE HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System - Hidrológiai Mérnöki Központ Vízfolyáselemző rendszere)] használatával képest jobb pontosságot mutat. Az elöntés során kialakuló vízmélységen túl a modell további betekintést nyújt az árhullám szétterjedésének irányába, az árvízi elöntés időtartamába. Ebben az összefüggésben az olyan integrált eszközök, mint a Watershed-BIM, alapvető fontosságúak az összetett árvízdinamika gyakorlatias, városi szintű ellenállóképességi tervezéssé alakításában.

Görögország történelmének egyik legpusztítóbb árvízi eseménye 2017. november 15-én történt az attikai Mandrában, amely 24 halálos áldozatot követelt és súlyos infrastruktúrális károkat okozott. A katasztrófára reagálva az Európai Kopernikusz Katasztrófavédelmi Szolgálat (CEMS - Copernicus Emergency Management Service) aktiválta az EMSR257-et, amely műholdas árvízi térképezést és hatásterület-lehatárolást biztosított az érintett területre. Bár a CEMS gyors értékeléseket kínál kontinentális szinten, nem alkalmas részletes, városi léptékű hidraulikai modellezésre. Ahol releváns volt, ott a CEMS árvízi térképeit durva viszonyítási alapként használták az árvízi hatások általános térbeli eloszlásának elemzésére, kiegészítve, de nem helyettesítve a városi szinten alkalmazott nagy felbontású, modellalapú árvizelemzést.

Az esemény során Mandra városi területén az árvíz elsősorban az Agia Aikaterini vízgöyjtő területéről származott, amely közvetlenül a város lakónegyedébe folyik le. A Soures-medencéből származó vizek főként a keleti ipari zónán haladnak keresztül, azonban a két vízgöyjtőről érkező árhullám összefutása, feltorlódása jelentősen felerősítette az árvízi elöntés súlyosságát. Az eseményhez kapcsolódó csapadékelemzéshez a műholdas adatok kiegészítésére a helyi hidrometeorológiai mérőállomások adatait is felhasználták. Reggel 6:00-9:00 óra között több mint 140 mm csapadékot regisztráltak, ami a régió átlagos éves csapadékmennyiségének közel 40%-át teszi ki. Ezek az adatok összhangban vannak a NASA IMERG adatkészletéből származó szélesebb körű megfigyelésekkel, amelyek körülbelül 150 mm csapadékról számoltak be egy hét órás időszak alatt. Ezek alapján az Agia Aikaterini-medencében 180 m³/s, a Soures-medencében pedig 140 m³/s vízhozam-csúcsok alakultak ki.

A Watershed-BIM keretrendszer jelenlegi megvalósításában a városi infrastruktúrát – beleértve az épületeket, utakat, járdákat és egyéb magas lefolyási tényezőjű felületeket – explicit módon modellezzik a BIM környezetben (Autodesk InfraWorks) a tényleges geometria és térbeli alaprajzi adatok felhasználásával. Ezeket az elemeket hidrológiailag paraméterezik magas lefolyási együtthatók segítségével ($\alpha > 0,70$), ami elhanyagolható beszívárgási kapacitást tükröz, összhangban a városi árvízmodellezés standard gyakorlatával. A növényzettel borított vagy átteresztő felületekhez alacsonyabb lefolyási együtthatókat rendeltek (pl. $\alpha = 0,3-0,5$), hogy azok viszonylag magasabb beszívárgási potenciálját jellemezzék. A városi területen egységesen 0,02-es Manning-féle érdességi együtthatót alkalmaztak a felületi ellenállás szimulálására. Bár a

Watershed-BIM keretrendszer támogatja a terep, az infrastruktúra és a hidrológiai folyamatok integrált térbeli modellezését, megvalósítását eredendően korlátozza a bemeneti adatok elérhetősége és részletessége. Ez a kihívás gyakran előfordul az adathiányos városi környezetben. Az esettanulmányban a nyilvánosan hozzáférhető, nagy felbontású adatkészletek – mint például a felszín alatti közműhálózatok elrendezései és a mérőállomások feljegyzései – nem álltak rendelkezésre, ami nem tette lehetővé a modell pontosságának további növelését. Adathiány miatt a felszín alatti csapadékvíz-elvezető infrastruktúra (pl. átteresztők, csővezetékek, aknák) nem került be a szimulációba, holott nem elhanyagolható ezek szerepe az esettanulmányban leírt havária jellegű eseményeknél (főként a villámárvíz korai időszakában). A terepi megfigyelések és az esemény utáni jelentések azonban azt mutatják, hogy a meglévő vízvezető hálózat már a 2017-es árvíz korai szakaszában is túlterhelt volt, és az esemény csúcspontján nem járult hozzá jelentősen a villámárvíz levezetéséhez. Ennek a kihagyása várhatóan nem veszélyezteti az árvízterjedési eredmények megbízhatóságát. Mindazonáltal a Watershed-BIM keretrendszer továbbra is kompatibilis a csapadékvíz-rendszerek integrációjával az Autodesk Civil 3D Storm and Sanitary Analysis (SSA) modulján keresztül, lehetővé téve a kettős vízvezetési szimulációk jövőbeni megvalósítását változó infrastruktúrális feltételek mellett.

A Watershed-BIM megvalósításának egyik fontos aspektusa a talaj vízáteresztő-képességének integrálása a hidrológiai szimulációs folyamatba. Ebben a keretrendszerben a vízzáró (rossz vízvezető-képességű) felületeket – például épületeket, utakat és járdákat – explicit módon modellezzik a BIM környezetben, és nem beszívárgó területként jelölik meg. Ez a kezelési mód összhangban van a városi átteresztő-képesség hiányával és az árvízokkázzal foglalkozó számos európai tanulmányban alkalmazott módszertannal. Ezáltal a keretrendszer lehetővé teszi a felszíni lefolyás pontosabb ábrázolását a sűrűn beépített környezetben.

Tanulmányok szerint az épületfalak csatornaszerű, szűk keresztmetszeteket képeznek, ezáltal növelik a vízmélységet, lefolyási akadályt képeznek és a sűrűlódási ellenállás miatt lassítják a lefolyást. Ezek a hatások a helyi árvízmagasság 20–50%-os növekedéséhez vezethetnek, az épületsűrűségtől és a kialakuló vízmélységektől függően. Bár a forrástanulmányban nem modellezték őket kvantitatívan, ezek a megfigyelések rávilágítanak a városi geometria hatásainak finomított elemzésének szükségességére. A modell teljesítményének értékeléséhez a Watershed-BIM eredményeit összehasonlították az USACE HEC-RAS és a Copernicus EMS valós szimulációival és megfigyeléseivel. A HEC-RAS-t széles körű elterjedtsége, GIS-kompatibilitása és a nyílt medres rendszerekben az 1D-s, nem stationárius áramlás szimulációjára való bizonyított képessége miatt választották alapmodellnek. Megbízható és jól bevált referenciát nyújt az árvíz kiterjedésének és mélységének becsléséhez, különösen folyóvízi vagy kissé urbanizált környezetben. Bár nem kifejezetten részletes városi modellezésre fejlesztették ki, használata támogatja a módszertani átláthatóságot, és összhangban van a hidrodinamikai validációban bevett gyakorlattal.

Az épületinformációs modellezés (BIM) hidrológiai és hidraulikai szimulációval való integrálására irányuló erőfeszítések számos kiegészítő megközelítés kifejlesztéséhez vezettek, amelyek mindegyike a városi árvízmodellezési folyamat különböző aspektusait hangsúlyozza. Például a CityGML + TUFLOW módszertan gazdag 3D-s városmodelleket és térinformatikai elemzéseket használ fel a nagy térbeli pontosság érdekében, különösen a felszíni áramlási szimulációkban. Ez azonban gyakran fejlett GIS-

szakértelmet igényel, és viszonylag összetett beállítási eljárásokat foglal magában, így alkalmasabb kutatáshoz vagy nagy felbontású tanulmányokhoz. Másrészt az olyan kombinációk, mint az InfraWorks a RiverFlow 2D-vel, a gyors tervezést, az intuitív vizualizációt és a kereskedelmi platformokba való integrációt hangsúlyozzák – hozzáférhető munkafolyamatokat kínálva, de néha a rugalmasság vagy a nyílt adatokkal való kompatibilitás rovására (Tsikas és társai 2025).



6. ábra. Az adatbázisból előállított elöntési modell ábrázolása (Tsikas és társai 2025)
Figure 6. Visualization of the flood model made from the database (Tsikas és társai 2025)

Portugália, Lisszabon, Tagus folyó, a klímaváltozással kapcsolatos kockázatértékelés és modellezés

A vízparti területek évezredek óta fontos szerepet játszanak az emberiség gazdasági, társadalmi és kulturális fejlődésében. Ugyanakkor ezek a területek a légérzékenyebbek az éghajlatváltozás következményeire. Az állóvizek, vízfolyások és tengerpartok menti árvizek, viharok és ciklonok érintik őket, amelyek valós veszélyt jelentenek a közösségekre, a gazdaságra és a kulturális örökségre. A part menti területek és városok felkészítése az éghajlatváltozással kapcsolatos veszélyekre tagadhatatlanul fontos, különösen azoknak a sebezhető emberi és természeti rendszereknek a számára, amelyek nem képesek megbirkózni a közelgő változásokkal és alkalmazkodni azokhoz. A vízparti városokban okozott károk világszerte elérhetik a több százmilliárd amerikai dollárt, ha a magas kibocsátású RCP8.5 (Representative Concentration Pathway) klíma-modell forgatókönyv valósággá válik. Globálisan tekintve a tengerszint feletti 2,0 m-es magasságnál alacsonyabban fekvő területek nagysága mintegy 649 000 km², ahol emberek milliói élnek. A 21. század végére az előrejelzések szerint a part menti árvízkárok legalább a tízszeresükre fognak nőni.

Az árvizekhez kapcsolódó kockázatok csökkenthetők szerkezeti beavatkozásokkal, például töltésekkel, víztározókkal, műtárgyakkal, vagy nem szerkezeti beavatkozásokkal, például kockázatalapú településmenedzsmenttel vagy vészhelyzeti intézkedésekkel. 2007-ben hatályba lépett az Európai Árvízvédelmi Irányelv (EFD - European Floods Directive), amely előírja a tagállamok számára a veszélyeztetett területek azonosítását és felmérését. Az EFD célja „az árvizek káros következményeinek kockázatának csökkentése, különösen az emberi egészségre és

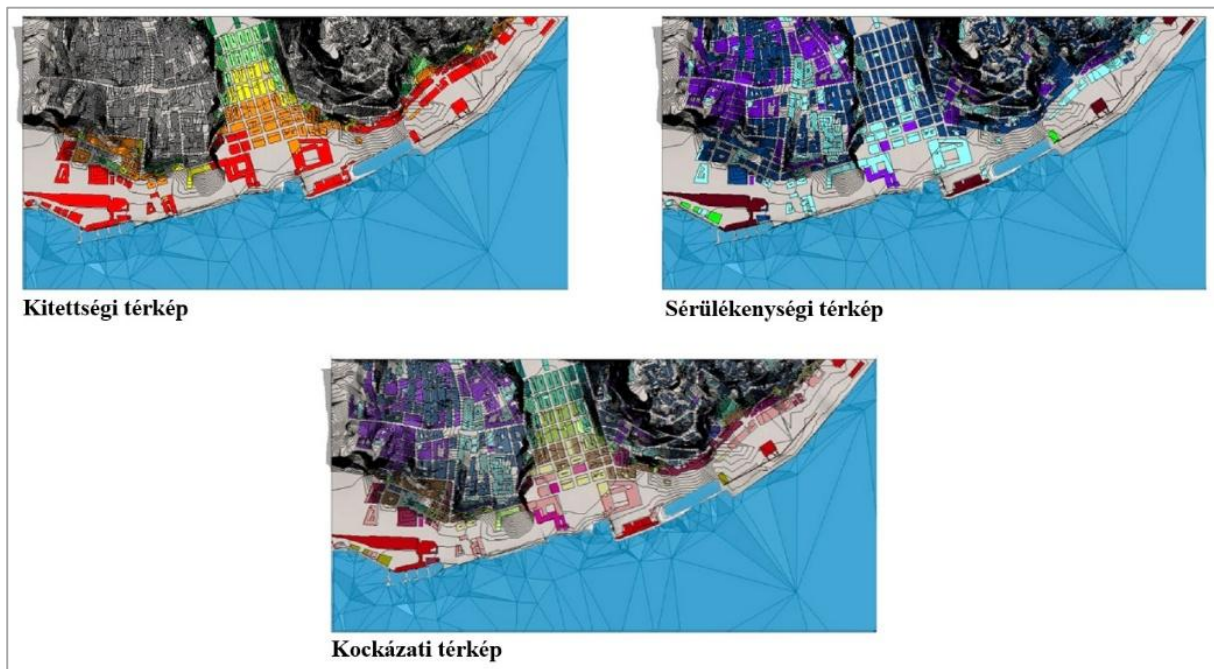
életre, a környezetre, a kulturális örökségre és a gazdasági tevékenységre nézve”. Az 5. és 6. cikk szerint azonban az EFD csak a kockázatnak kitett vagy potenciálisan kitett zónák feltérképezését írja elő, és nem ír elő mennyiségi kockázatbecslést. Az elemzés típusa, a kockázatértékeléshez és -modellezéshez használandó eszközök azonban nincsenek meghatározva az EDF-ben.

A kockázati kitettség annak a valószínűsége, hogy egy kockázat bekövetkezésének mekkora az esélye. A gazdasági értékek és a víztesttől való távolság – torkolat, folyópart vagy tengerpart – határozták meg a városi eszközök kockázati kitettségének referenciaszintjeit. Alacsony tengerszint feletti magasság és a vízhez való nagy közelség esetén határozták meg az árvíz kockázattal kapcsolatos legmagasabb kitettségi szinteket. Ezzel szemben a sérülékenység a kockázatnak kitett eszközök vagy személyek kár- és veszteségkockázattal szembeni érzékenysége utal. Előfordulhat, hogy egy épület ki van téve az árvíznek, de nem sérülékeny; ahhoz azonban, hogy egy szélsőséges eseménnyel nézve sérülékeny legyen, mindenképpen kell, hogy legyen kitettsége. A sérülékenység számos tényezőtől függ (többek között a partvonal közelsége, fizikai akadályok megléte, talajjellemzők, épületszerkezeti minőség, anyagok és tipológia, épületszerkezeti hatékonyság, valamint az épület reakciója a korábbi áradásokra).

Az esettanulmányban az Egyesült Királyság Építésügyi Minisztériuma által javasolt érzékenységi besorolást vették figyelembe. Az eszközöket öt kategóriába sorolták, ahol az 1-es kategória (V1) a vízzel kompatibilis fejlesztések, míg az 5-ös kategória (V5) a létfontosságú infrastruktúra volt. Utóbbi kategóriába tartoznak azok az elemek (pl. a tömeges evakuálási útvonalak, az áramellátás, az erőművek és a víztisztító telepek), amelyeknek árvíz idején is működőképesnek kell maradniuk.

Minden kockázattípushoz 1-től 5-ig terjedő kitettség és sérülékenységi érték adható, így egy kockázati képlettel a kockázat nagysága meghatározható: $R = E \times V$, ahol R (Risk) a kockázat, E (Exposure) a kitettség és V (Vulnerability) a sérülékenység, maximális értéke pedig 25. Bizonyos veszélytípusok, például maga az árvíz esetében a kitettség érték nem változtatható, mivel szigorúan függ a tengerszint feletti magasságtól és a távolságtól. A tengerszint feletti magasságot és távolságot változatlanak tekintjük, kivéve, ha töltéseket, gátakat, zsilipeket építünk vagy más hasonló munkálatokat végzünk az elemzési terület közelében. Az árvíz kockázat-méréséklés egyéb intézkedései esetében, amikor a veszély egy kis területre korlátozódik, a kockázatnak való

kitettség biztonsági eljárások megtételével csökkenthető: ilyen eljárások lehetnek az építésügyi és terület-használatra vonatkozó szabályozások, korlátozások, illetve preventív árvízvédelmi intézkedések. Általánosságban elmondható, hogy a leghatékonyabb árvíz kockázat-csökkentő intézkedések azok, amelyek csökkentik a veszélyeztetettség szintjét. A kockázatértékelés elkészítését követően Autodesk Revit program és a Watershed-BIM metodológia használatával különböző térképi álmányokat hoztak létre: külön ábrázolták az árvízi elöntésnek kitett városrészek és építmények elöntési kockázatait, a kialakuló vízmélységeket, valamint az elöntés alá kerülő építményekhez, infrastruktúrához rendelhető anyagi értékeket (Del Duca és társai 2022).



7. ábra. Az adatbázisból előállított kitettségi, sérülékenységi és kockázati térképek (Del Duca és társai 2022)
Figure 7. Exposure, vulnerability and risk maps made from the database (Del Duca és társai 2022)

ÖSSZEGZÉS

Az utóbbi években az építményinformációs modellezés használata egyre inkább teret nyer a hazai építőipari környezetben is: a 2023. évi LXIX. törvény, a 25/2024. (VIII. 8.), a 31/2024. (VIII. 22.) és 27/2025. (VIII. 28.) ÉKM rendletek tisztázzák az egyes építőipari szereplők feladatait, jogköreit, megalapozzák az építési beruházások intézményrendszerét, továbbá jogi, törvényi kereteket adnak az állami építési beruházásoknak, valamint tisztázzák és meghatározzák a BIM szerepét az egyes építőipari szereplők és folyamatok vonatkozásában. Nincs megerősíthető adat arra vonatkozóan, hogy az utóbbi 5-10 évben megépített vagy rekonstrukción átesett jelentősebb vízi létesítmények (pl. Visegrád, Nagymaros, Szentendre környezetében megvalósult árvízvédelmi fejlesztés, Szamos-Kraszna-közi árapasztó tározó, Tisza-Túr árapasztó tározó, Mosoni-Duna torkolati műtárgy és hajózsilip vagy Kvassay-zsilip és szivattyútelep felújítása) tervezésénél, kivitelezésénél milyen módon és mértékben alkalmazták az építményinformációs modellezést.

A BIM egy digitális, objektum-alapú tervezési és információkezelési módszertan, amely egy háromdimenziós

(3D) modellbe integrálja az építmény (ami lehet akár épület, infrastruktúra elem stb.) geometriai, műszaki, üzemeltetési adatait és leggyakrabban az építmény teljes életciklusára vonatkozatható. A 31/2024. (VIII. 22.) ÉKM rendelet értelmében 2027.07.01-től a vízépítésben is kötelezővé válik a BIM-alapú tervezés és műszaki megvalósítás.

A modellezhető árvíz- és belvízvédelmi létesítmények között szerepelnek az árvízvédelmi töltések, depóniák, mobilgátak, árvízvédelmi falak, az árvízvédelmi művekkel kapcsolatos infrastruktúra elemek (utak, vasútvonalak, közművek), műtárgyak (duzzasztók, zsilipek, tiltók, folyószabályozási művek), magasépítési elemek (pl. szivattyútelepek, gépházak), tározók, különböző funkciójú csatornák, valamint terepmodell szintjén a vízgyűjtő területek és hullámterek is. A Watershed-BIM keretrendszer és más, hidrodinamikai modellező szoftver (pl. HEC-RAS) BIM környezetbe történő integrálásával összetett szimulációk is előállíthatók, amik alkalmasak lehetnek árvízi elöntések modellezésére, ami alapján kockázatértékelések, intézkedési tervek készíthetők.

A kínai tanulmány következtetései alapján megállapítható, hogy a BIM-technológia hatékonyan alkalmazható az árvízvédelmi, folyószabályozási és vizes élőhelyekhez kapcsolódó komplex mérnöki és környezetfejlesztési projektek menedzsmentjében. Az eredmények azt mutatják, hogy a háromdimenziós digitális modellezés jelentősen javítja a tervezési folyamat pontosságát és átláthatóságát, különösen bonyolult terep- és vízrendszerek esetében. A kutatás rámutat arra, hogy a BIM és más digitális technológiák (pl. GIS) integrációja lehetővé teszi a különböző adatforrások hatékony összekapcsolását, ezáltal csökkenti az adatfeldolgozási hibákat és növeli az elemzések megbízhatóságát.

A görög esettanulmány alapján megállapítható, hogy a BIM–GIS integráción alapuló Watershed-BIM megközelítés jelentős előrelépést képvisel a városi árvíz-kockázat modellezésében, mivel képes egyesíteni a vízgyűjtőszintű hidrológiai folyamatokat az infrastruktúra részletes térbeli reprezentációjával. A kutatás eredményei azt mutatják, hogy az integrált, háromdimenziós modellezés nagyobb pontosságot biztosít a hagyományos, fragmentált vagy két-dimenziós megközelítésekhez képest, különösen a városi környezet komplex kölcsönhatásainak feltárásában.

A portugál esettanulmány fő következtetése, hogy a BIM-alapú megközelítés hatékony eszközt kínál a városi árvíz-kockázat integrált elemzésére és kezelésére, különösen komplex, part menti városi környezetekben. Az eredmények azt mutatják, hogy a különböző adatforrások – például topográfiai, építészeti és társadalmi adatok – egyetlen modellben történő egyesítése lehetővé teszi a kockázatok átfogóbb és dinamikusabb értékelését. A kutatás igazolja, hogy a kockázat alapú megközelítés (expoziáció és sérülékenységi kombinációja) jól alkalmazható a városi tervezés támogatására, különösen akkor, ha azt 3D tematikus térképekkel egészítik ki.

A BIM környezet alkalmazása az ár- és belvízvédelemben lehetővé teszi a tervezési, kivitelezési és fenntartási folyamatok integrált adattartalmú megközelítését, amelyben a hidrológiai, hidraulikai és szerkezeti modellek egységes rendszerben kezelhetők. A modellalapú kivitelezés támogatja az építésszervezés optimalizálását és az erőforrások hatékony felhasználását, csökkentve a hibák és többletköltségek kockázatát. A fenntartási időszakban a BIM lehetőséget biztosít a létesítmények állapotának nyomon követésére és a karbantartási, javítási, átépítési, fejlesztési beavatkozások tervezésére, akár szenzoradatokkal integrált digitális iker formájában. Az egységes adatkezelés és vizualizáció javítja a döntéshozatal átláthatóságát és a különböző szakterületek közötti együttműködést. Mindezek révén a BIM hozzájárul a vízgazdálkodási rendszerek hatékonyabb, biztonságosabb és fenntarthatóbb életciklus-menedzsmentjéhez. A közeljövőben a BIM modellek alkalmazása a vízgazdálkodásban, árvíz- és belvízvédelem területén az alábbi irányok mentén fejlődhet.

Az AI és a gépi tanulás integrálása a BIM-folyamatokba lehetővé teszi majd a modellek automatikus hibafelismerését, kockázatelemzést, és például az infrastruktúra állapotának előrejelzését, így a vízügyi rendszerek még proaktívabban működhetnek. A mesterséges intelligencia

képes lehet automatizált hibafelismerésre, karbantartási szükségletek előrejelzésére, valamint szimulációk futtatására különböző éghajlati forgatókönyvek alapján, ami különösen hasznos lehet a klímaváltozás miatti extrém események kezelésében.

A BIM-modellek és az IoT-szenzorok, valamint valós idejű adatfolyamok kombinációja (pl. digitális iker) révén az infrastruktúra (töltések, csatornák, műtárgyak) állapota folyamatosan követhető, így a karbantartás, figyelmeztetés és beavatkozás gyorsabbá válhat. A BIM-modellekhez valós idejű adatok kapcsolhatók, ami lehetővé teszi a valós idejű megfigyelést, az árvízi kockázat előrejelzését és a gyors reagálást a veszélyhelyzetekre, szenzoradatok felhasználásával könnyíthető a vízminőségi havária helyzetek kezelése.

A felhőalapú együttműködés és adatkezelés terjedése lehetővé teszi, hogy különböző szereplők – tervezők, vízügyi szakemberek, üzemeltetők – egységes adatbázison dolgozzanak, ezáltal csökkennek az átfedések, növekszik az adatok újra-felhasználhatósága és gyorsabbá válik a döntéshozatal.

A szabványosítás és kötelező BIM használat (pl. állami megrendelésekben) növekedése várható, ami elősegíti, hogy a vízügyi projektekben is egyre inkább elvárassá váljon a BIM-alkalmazás.

A BIM környezet várhatóan a következő években tovább fejlődik azáltal, hogy egyre szorosabban integrálódik valós idejű adatforrásokkal, digitális iker rendszerekkel és fejlett szimulációs eszközökkel, ezáltal hatékonyabban támogatva a fenntarthatósági és klímaalkalmazkodási célok elérését.

IRODALOMJEGYZÉK

2023. évi LXIX. törvény az állami építési beruházások rendjéről <https://njt.hu/jogszabaly/2023-69-00-00>, megtekintve: 2025.10.28.

178/2010. (V. 13.) Korm. rendelet a vizek többletéből eredő kockázattal érintett területek meghatározásáról, a veszély- és kockázati térképek, valamint a kockázatkezelési tervek készítéséről, tartalmáról, <https://njt.hu/jogszabaly/2010-178-20-22>, megtekintve: 2025.10.18.

27/2025. (VIII. 28.) ÉKM rendelet az állami építési beruházás megvalósítása eredményeként állami tulajdonú ingatlan területén létrejövő építmény üzemeltetésének feltételeiről és az üzemeltető kiválasztásának szabályairól, <https://njt.hu/jogszabaly/2025-27-20-8X>, megtekintve: 2025.10.18.

31/2024. (VIII. 22.) ÉKM rendelet az építményinformációs modell (BIM) alapú tervezés és műszaki megvalósítás feltételrendszeréről, <https://njt.hu/jogszabaly/2024-31-20-8X>, megtekintve: 2025.10.18.

25/2024. (VIII. 8.) ÉKM rendelet

Az Európai Parlament és a Tanács 2007/60/EK Irányelve (2007.10.23.) az árvíz-kockázatok értékeléséről és kezeléséről, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj>, megtekintve: 2025.10.18.

ÁKT (2021). Magyarország Kormánya által elfogadott „Magyarország 2021. évi Árvíz-kockázat-kezelési terve”,

https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2022/10/akk/Ar-vizkockazat-kezelesi_terv.pdf, letöltve: 2025.10.11.

Del Duca, G., Rocha, R., Orsz, M., Mateus, L. (2022). A Preliminary Contribution towards a Risk-Based Model for Flood Management Planning Using BIM: A Case Study of Lisbon. Báz, Svájc (2022), 27. p., <https://doi.org/10.3390/s22197456>, letöltve: 2025.10.18.

Huang, T., Xu, H., Wang, Y., Chen, H., Zhang, L., Fan, H. (2023). River Shoreline Project Management Based on BIM Technology: A Case Study of the Environmental Improvement Project of the Green Water Wetland in the Nanjing Reach of the Yangtze River. Nanjing, Kína, pp. 894-905. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0_79

OVF (2026). <https://www.ovf.hu/vizrajz-vizmi-noseg/vizrajzi-tevekenyse->, megtekintve 2026.04.22.

Szlávik L. (2005). Ármentesítés – árvízvédelem. Eötvös József Főiskola Műszaki Fakultás főiskolai jegyzet. Baja, p. 381, ISBN 963 7290 32 X

Szlávik L. (2018). Belvízmentesítés, belvízvédelem. OVF, Budapest http://vpf.vizugy.hu/reg/ovf/doc/14.%20Belvizmentesites,%20belvizvedelem_A1.pdf, megtekintve: 2025.10.18.

Tsikak, P., Chassiakos, A., Papadimitropoulos, V. (2025). Watershed-BIM Integration for Urban Flood Resilience: A Framework for Simulation, Assessment, and Planning. Báz, Svájc, 26. p., <https://doi.org/10.3390/su17177687>

URL1. <https://buildext.com/bim/>

URL2. <https://www.dlt.com/blog/2017/01/06/preventing-flooding-bim>

URL3. <https://bimcorner.com/bim-object-in-infra-structure/>

SZERZŐ



LUCZÓ ÁDÁM építőmérnök (Eötvös József Főiskola, 2013), okleveles mezőgazdasági vízgazdálkodási mérnök (Debreceni Egyetem, 2024). 2013-tól előbb a Békés Drén Kft-nél, majd a FUTIZO Kft-nél vesz részt víz-, mély-, közmű- közlekedéscsőépítéssel és öntözéssel kapcsolatos kivitelezési munkákban. A Magyar Mérnöki Kamara és a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

NYÍLT LEVÉL

Gondolatok az egykori VÍZGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOS KUTATÓ INTÉZET-ről egy új VÍZGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOS KUTATÓ KÖZPONT-ért!



2020. december 10-én hatalmas robbantással tettek földdel egyenlővé egy toronyházat Budapesten, a Kvassay Jenő úton. Ez volt a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, akkorra már kiürített székháza. Mi, akik dolgoztunk az intézetben, mint családtag kötődünk e tudományos központhoz. A robbantás drámai eseményének pillanatában éreztük és értettük meg igazán, hogy a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet – de annál még sokkal több is – megszűnt!

Az intézményt pénzügyileg már 2012-ben ellehetetlenítették. Ezt követően jogilag is véglegesen felszámolták, gyaníthatóan egy előre gondosan megtervezett ingatlanpanama részeként. A volt központi épület évekig üresen állt, majd nyolc év elteltével felrobbantották. Helyén egy atlétikai stadion épült fel. A tisztánlátás és továbblépés érdekében meg kell nevezni az elfogadhatatlan folyamat felelőseit, tervezőit és végrehajtóit.

Szinte felfoghatatlan, vajon miért ne lett volna égetően, folyamatosan szüksége az országnak egy méltán nemzetközi hírű kutatóhelyre, amely megteremtette Magyarországon az integrált vízgazdálkodási kutatások eszköz- és tudásbázisát, információközpontját? Miközben óriási kihívások érik hazánk fenntartható vízgazdálkodását, az elöregedett vízellátó rendszerektől a hidrológiai körfolyamat szélsőségeinek egyre gyakoribb előfordulásáig. A fokozódó hidrológiai szélsőségek drámaian befolyásolják a mezőgazdasági termelés stabilitását, növelik az ország területének közel egyharmadán a szélsőséges árvízi kockázatokat, valamint különösen súlyos terheket jelentenek az ország gazdaságának. Szomorú, de előre látható lett volna a mostani aggasztó aszály és az extrém kisvízes periódus.

Sajnálatos tény, hogy az átfogó és koordinált magyar víztudományi kapacitás a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet megszűntetésével lényegében szétesett, illetve – esetenként kitűnő – zömében egyetemi tanszéki tudományos műhelyekre atomizálódott. Víztudományunk mérhető nemzetközi hatása drasztikusan csökkent. Ma, olyan önálló, átfogó, integrált és multidiszciplináris állami vízgazdálkodási kutatóintézet, amely a hidrológiától a vízminőségen, a felszíni és felszín alatti vízkészleteken, a vízépítésen, az energetikán és az ökológián át a gazdasági és társadalmi kérdésekig a feladatokat egy intézményben képes összefogni és kezelni, nincs. Az egyetemi tanszékeken folyó kutatómunka nem helyettesíthette egy hosszú távú, átfogó, a kormányzati vízügyi politika és a gyakorlat igényeit prioritásnak tudó, koherens nemzeti vízgazdálkodási tudományos kutatási program kidolgozását és végrehajtását. Ez volt a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet missziója, és ezt szükséges újra megteremtteni!

Napjainkban, mikor a bőrünkön érezzük, hogy a klímaváltozás hatásainak legnagyobb része a vízkörforgáson keresztül jelentkezik, egyre sürgetőbbé válik egy olyan kutatóhely újbóli megalapítása, melynek feladata az ország vízkészleteivel kapcsolatos tudományos kutatás, mérés, elemzés, operatív előrejelzés, műszaki fejlesztés és kutatás-koordináció lenne.

A Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézetet az tette naggyá, hogy alapfeladatain túl jelentős nemzetközi kapcsolatokat épített ki, és hatékonyan ápolta együttműködést az ENSZ, az EU intézményeivel és a nemzetközi tudományos közösséggel, egy intézményben fogta össze a vízzel kapcsolatos tudást, összehangolta a vizes kutatásokat, nemzetközileg is elismert tudósokat tudhatott a vezetői között, és nem utolsósorban olyan szakembereket nevelt, akik napjainkban a vízgazdálkodás kiemelkedő egyéniségei.

Mi, akik részesei voltunk e tudományos, szakmai tevékenységnek, és érezhattük ennek a nemzetközileg is széles körűen elismert intézetnek a szellemiségét, bízunk abban, hogy a megújult politikai vezetés megérti, hogy mi a víz szerepe a társadalomban és a természetben, és életre kelti azt az integrált feladatok ellátására képes vízgazdálkodási kutatóhelyét, amely újjáéleszti és továbbviszi a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ tevékenységeit és szellemiségét. Ezt a folyamatot mi, mint a hajdani Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ egykori munkatársai örömmel segítenénk!

Budapest, 2026. szeptember



Az egykori VÍZGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOS KUTATÓ INTÉZET/KÖZPONT dolgozói

<i>Albert Kornél</i>	<i>Koncsos László</i>	<i>Schandl Vilmos</i>
<i>Bakonyi Péter</i>	<i>Konecsny Károly</i>	<i>Schneider Jolán</i>
<i>Bartha Ferenc</i>	<i>Kovács Péter</i>	<i>Simonffy Zoltán</i>
<i>Bendéné Tóth Erzsébet</i>	<i>Kovács Szilárd</i>	<i>Solymossy Anikó</i>
<i>Berke Barnabás</i>	<i>Kőszegi Lászlóné</i>	<i>Szabó János Adolf</i>
<i>Berta Erzsébet</i>	<i>Kövendi-Veress Gyula</i>	<i>Szakács Zsuzsanna</i>
<i>Csányi Béla</i>	<i>Laskóvölgyi Mária</i>	<i>Szilágyi Ferenc</i>
<i>Deseő Éva</i>	<i>László Ferenc</i>	<i>Szlávik István</i>
<i>Zsuffa Istvánné Szöllősi-Nagy Klotild</i>	<i>Licskó István</i>	<i>Szlávik Lajos</i>
<i>Fehér János</i>	<i>Liebe Pál</i>	<i>Szöllősi-Nagy András</i>
<i>Fleit Ernő</i>	<i>Major Veronika</i>	<i>Szurdiné Veres Kinga</i>
<i>Futaki Károly</i>	<i>März Ilona</i>	<i>Takács Imre</i>
<i>Gaál László</i>	<i>Mayer István</i>	<i>Vadász Jenő</i>
<i>Gajárszki Győző</i>	<i>Mekis Éva</i>	<i>Várad József</i>
<i>Galambos István</i>	<i>Oláh János</i>	<i>Várhelyi Ildikó</i>
<i>Gayer József</i>	<i>Pálos László</i>	<i>Várhelyi István</i>
<i>Hoffer Alice</i>	<i>Pappné Urbán Judit</i>	<i>Vekerdy Zoltán</i>
<i>Horváth Emese</i>	<i>Pataki Bea</i>	<i>Veres Kinga</i>
<i>Kissevich Gáborné</i>	<i>Peisz Hajnalka</i>	<i>Zóka Béla</i>
<i>Kling Zoltán</i>	<i>Réczey Gusztáv</i>	

TÁMOGATÓ

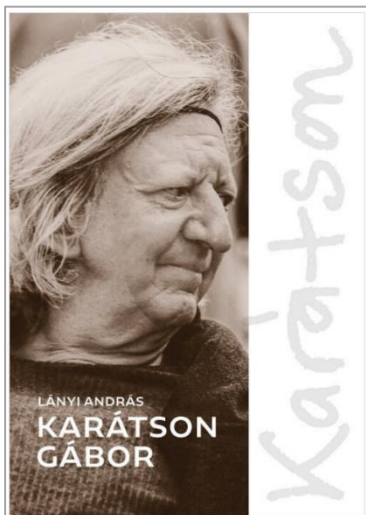
Búzás Zsuzsa

Az alapításkori nevén Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézetnek keresztelt, majd Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központnak átnevezett intézmény 2012-ben megszűnt. A mozaikszo és a logó egy magyar vállalkozás tulajdonába és kizárólagos használatába került. A „Nyílt levél”-ben nevesített intézmény kizárólag a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézetre/Központra utal és a levél annak ethoszát idézi.

Fórum



A FÓRUM ad teret a vitának. Ezért Hajnal Géza Reflexiójának közzélése után, melyet Lányi András könyve váltott ki, itt tesszük közzé Lányi András válaszát.



Könyvismertetés

A Kortárs Kiadó 2022-ben jelentette meg Lányi András könyvét Karátson Gábor páratlanul gazdag életművéről. (https://kortarskiado.hu/konyv/karatson_gabor)

Reflexió

Lányi András: Karátson Gábor könyvére Hajnal Géza „Szegény vízmérnök panasza” címmel észrevételt tett, melyet a Hidrológiai Közlöny 106/2 számában, közzétünk ([Szegény vízmérnök panasza Lányi András Karátson Gáborról szóló könyvét olvasván | Hidrológiai Közlöny](#))

Lányi András válaszát itt tesszük közzé, remélve, hogy idővel a Bős-Nagymaros ügyben „A harcot, amelyet őseink vívtak, békévé oldja az emlékezés”.

Válasz Hajnal Gézának

Őszinte köszönettel tartozom Hajnal Gézának a Karátson Gáborról szóló könyvemnek szentelt alapos bírálatért, a Hidrológiai Közlöny szerkesztőinek pedig azért, hogy a legilletékesebb közönség előtt válaszolhatok a szerzőnek. Szeretném remélni, hogy írásaink hozzájárulnak egy négy évtizede tartó álvita lezárásához.

Miért álvita? Mert maguk a dunai duzzasztóművek egyre kisebb szerepet játszanak benne, környezetünk és vízeink védelmének egyéb kérdéseiben pedig az érintett szakemberek többsége ma már nemcsak egyetért a környezetvédekkel, de rendszeresen együtt is működik velük. Ez az együttműködés az elszivatagosodó Kárpát-medence közepén, a felszíni és felszín alatti vízeinket fenyegető sokféle veszedelem közepette létfontosságú, nélkülözhetetlen – és mindig is létezett. A vízlépcsőellenes mozgalom vitaképtelen lett volna, ha résztvevői között nincsenek a kellő műszaki és természettudományos felkészültséggel rendelkező szakemberek. Akiknek én magam gyakran csak az íródeákja, szócsöve voltam. Ők nemigen engedhették meg maguknak, hogy véleményüket nyilvánosan vállalják. A kilencvenes években a magyar hivatalos álláspont Bős-Nagymaros ügyében választási ciklusonként változott, a vízepítő szakma ellenben összezárt, és árulónak tekintette azt, aki a sorból kibeszélt.

Ma már sokkal könnyebb kezét nyújtani egymásnak a sérelmekből és félreértésből emelt falak felett, amikor kollégáink közösen dolgoznak a vízmegtartó vízgazdálkodáson, vizes élőhely-rehabilitáción és egyéb programokon. Aligha véletlen, hogy a könyv, amelynek egyes részleteit Hajnal Géza sérelmezi; régi dolgokról szól. Néhai barátom szenvedélyes kirohanásai a vízlépcsők építői ellen egy országos vita hevében hangzottak el a nyolcvanas-

kilencvenes évek fordulóján. Ebben a vitában az egykori Duna Kör egy reménytelennek tűnő kisebbségi álláspontot képviselt a politikai hatalommal és a pártállami sajtóval szemben. És – figyelem! – amikor ő vagy mások „vízepítő lobbiról” beszélnek, NEM egy szakmát értenek ezen, hanem azokat, akik keresztgátat akarnak építeni a Dunakanyarba, és a folyót oldalvízcsatornába terelnék. Politikusokat, propagandistákat, a beruházásban érdekelt cégeket és ágazatokat, köztük igen, a magyar vízügy egyes vezetőit, akik ebben az ügyben szerepük szerint inkább voltak állami funkcionáriusok, mint mérnökök.

Voltak persze és vannak is szakmai viták, Bős-Nagymaros esetében ugyanúgy, mint a Római-parti mobilgát vagy a kiskunsági vízpótlás kérdésében; ezekben azonban mindkét oldalon álltak mérnökök, sőt, úgy tudom, műegyetemi tanszékek is. Tehát a zöldek - vizes szakmák szembenállás egészen egyszerűen nem fedi a valóságot. Az is igaz, nem egyszer fordult elő, hogy egyik vagy másik beruházás támogatói a mérnöki tudományok megfellebbezhetetlen tekintélyére hivatkoztak. Ilyenkor okkal emlékeztettünk arra, hogy vitáink kivétel nélkül olyan döntések körül forognak, amelyekben az ökológus, a jogász, a közgazdász és egy sor más diszciplína ugyanúgy illetékes, mint a műszakiak. Jó példa erre magának a gabcikováci rendszernek a természeti és társadalmi környezetére gyakorolt hatása. Egyetértek Hajnal Gézával, jó lenne többet tudni erről. Javaslom, olvassa el a kulturális antropológus, Murányi Veronika sokéves csallóközi kutatásairól szóló beszámolóját a Fórumban, a szlovákiai magyarok társadalomtudományi folyóiratában.

„Ki legyen az ellenség?” – kérdi a cikk egyik fejezetének címe. Kedves Hajnal Géza, hadd ne én legyek! Amikor

engem és hasonszőrű barátaimat vádolja azzal, hogy a dunai vízlépcsők jelentőségét vagy kártételét aránytalanul el túlozzuk más, ennél súlyosabb környezeti károk rovására, annyira nem érzem magamat találva, hogy még csak meg sem sérthetnek. Ugyanis szóban és írásban ennek az ellenkezőjét teszem majd negyven éve. A Műegyetemtől délre, alig száz méterre található az ELTE Társadalomtudományi Kara, ahol az általam alapított Humánökológia Mesterszakon az ökológiai válság társadalmi és természeti összefüggéseinek komplex értelmezését tanítjuk és tanuljuk. Számos olyan zöldmozgalomnak voltam résztvevője, nemegyszer kezdeményezője, amelyek a legkülönbözőbb témákban és helyszíneken próbálták menteni, ami a hazai élővilágból még menthető. Ennek lehetőségéről szólnak több egyetemen meghirdetett politikai ökológia kurzusaim, arról pedig, hogy miért kell így cselekednünk, a környezet és etika nevet viselő tantárgy,

szöveggyűjtemény, filozófiai esszék és kötetek. Ez utóbbiak közül Ön azt a kettőt említi, amelyek a hazai környezetvédő mozgalmak múltjával, illetve e történet meghatározó alakjával, Karátson Gáborral foglalkoznak, innen az optikai csalódás.

Örülök, hogy így történt, legalább hozzákezdhetünk a félreértések tisztázásához. Ez minden bizonnyal egymás álláspontjának jobb megértéséhez vezet. Ha pedig éles szemű és jóindulatú recenziója kedvet csinál az olvasónak, hogy Karátson Gáborról szóló könyvemet kézbe vegye, abban a kortárs magyar szellemi élet egyik legsokoldalúbb alakjával találkozhat. Aki munkásságát megismeri, talán azt is megbocsátja neki, hogy a dunai vízlépcsők ellen tiltakozva – elsőként Magyarországon – ő ismerte fel a párhuzamot a létforrásainkat pusztító technológiai erőszak és az emberek felett gyakorolt önkényuralom között.

Lányi András

SZERZŐ



Lányi András magyar író, filozófus, filmrendező, a humánökológia egyik hazai úttörője. Egyetemi docensként (ELTE) és környezetvédelmi aktivistaként is ismert. Munkásságáért Budapest díszpolgárává választották. Az ELTE Társadalomtudományi Karán a Humánökológia Mesterszakán oktat.

Események



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG XLIII. Országos Vándorgyűléséről számolunk be, melynek Gödöllőn, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent István Campusa adott helyet.



MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG XLIII. ORSZÁGOS VÁNDORGYŰLÉS

Gödöllő, 2026. július 1-3.



1. fotó. Az MHT XLIII. Országos Vándorgyűlésének ünnepi megnyitója (Fotó: Korondi Judit)
(Szöllőssy Gábor, dr. Gémesi György, dr. Váradi József, Horváth Balázs, prof. dr. Gyuricza Csaba, Láng István)
Photo 1. Opening ceremony of XLIII. Annual National Conference of Hungarian Hydrological Society (Photo Judit Korondi)
(Gábor Szöllőssy, dr. György Gémesi, dr. József Váradi, prof. dr. Csaba Gyuricza, Balázs Horváth, István Láng)

A Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) 2026. július 1. és 3. között Gödöllőn, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Szent István Campusán rendezte meg XLIII. Országos Vándorgyűlését. A vízügyi szakma minden területéről mintegy 350 résztvevő regisztrált a gazdag szakmai kiállítással egybekötött Vándorgyűlésre.

Az első napon, a MATE Szent István Campus Aula épületében rendezett plenáris ülés dr. Váradi József társelnök nyitóelőadásával vette kezdetét.

**Tisztelt Elnökség! Tisztelt Hölgyeim és Uraim!
Kedves Vendégeink! Kedves Kollégák!**

Szinte napra pontosan egy évvel ezelőtt találkoztunk, az akkor Fehérváron megrendezett Országos Vándorgyűlésen. Akkor azt mondtam, hogy nehéz, mozgalmas időszak van mögöttünk. Most ezt megerősítve azt is hozzáteszem, hogy előttünk még nehezebb, még mozgalmasabb időszak rajzolódik ki. Miért? Mert lassan minden évben minisztériumot váltunk, és nem mondhatom, hogy ezzel a vízügy, egyre jobb helyzetbe kerülne. Ez pedig nekünk, a Magyar Hidrológiai Társaságnak sem mindegy. Azt gondolom, hogy ez a kijelentés megérdemel, sőt megkíván némi magyarázatot.

Azt látom – és ezt lehet személyes benyomásnak is hívni –, hogy a bizalmatlanság, sőt, szerintem az ellenségeség veszi körül a vízügyet. A vízügy, csak a vízügy hibás abban, hogy nincs víz a tájban, hogy hasznosítható készleteink fogynak, hogy a talajvízszint csökken, hogy az árhullámok hasznosítatlanul hagyják el az országot, sőt abban is a vízügy a hibás, hogy a mezőgazdaság még nem váltott paradigmát. Minden más-ként alakulna (és alakult volna), ha a vízügy értené az idők szavát, és nem gigantomán, túlrazott nagyberuházásokban gondolkodna. Ha nem elvezetésben, hanem víz visszatartásban gondolkodna. Újraéledni látom Bős-Nagymaros szellemét. Most gyömszörljük azt vissza a palackba, amíg még nem késő.

Mi, mint Magyar Hidrológiai Társaság, a vízügynek vagyunk a szakmai, tudományos társadalmi szervezete, immár egyedülként, akik a vízzel kapcsolatos valamennyi szakterület együttműködését egy szervezeten belül biztosítjuk. Nem közömbös tehát számunkra, hogy milyen a vízügy társadalmi megítélése, államigazgatásban elfoglalt helye és szerepe, munkaerőhelyzete és finanszírozottsága. És persze az sem, hogy mit

gondol a vízügy arról, hogy merre tart a hazai vízgazdálkodás.

Mi, akiknek munkáját 2650 egyéni és 165 jogi tagunk segíti, feladatunknak tekintjük, hogy segítsük a hazai vízgazdálkodás problémáinak megoldását. Küldetésünknek tekintjük, hogy az egész világot, így hazánkat is fenyegető vízválság megelőzése és megakadályozása érdekében azonosítsuk, majd ismertessük a tudomány, a gyakorlat, a szervezés és a működés hazai, és nemzetközi módszereit, és eredményeit, és kezdeményezzük a legjobb megoldások hazai alkalmazását. Kötelességünknek tekintjük, hogy javaslatot tegyünk a problémák megoldásának eszközzrendszerére és módszereire.

Így kerül sor minden évben az MHT legnagyobb rendezvényén, az országos vándorgyűlésen az akkor leginkább feszítő vízgazdálkodási probléma fókuszba helyezésére és megtárgyalására. Plenáris előadásokkal és pódiumbeszélgetésekkel indítunk, majd hat szekció munkája ad keretet a szakmai egyeztetésekre. 2024-ben a „Víz a tájba” program volt terítéken. 2025-ben ezzel összefüggésben a vízügyi beavatkozások gazdaságossági mérésének és megítélésének szenteltük a vándorgyűlést. 2026-ban a hidrológiai ciklus változásának elemzése áll majd a középpontban. A mostani vándorgyűlésünkön a Magyar Tudományos Akadémia megalakulásának 200. évfordulója apropóján külön szekcióban foglalkozunk a víztudományok hazai akadémikusainak és a vízügyi tudásbázist gyarapító, a vízügyi előrehaladást jelentősen befolyásoló nagy egyéni-sége munkásságának ismertetésével.

Valójában 2023-tól Társaságunk munkájának zászlóshajója a klímaváltozás miatt kialakult vízválság. És néha úgy érezzük, hogy nem elég az évi egy vándorgyűlésen a nagyon összetett és nagyon sok elemében még mindig populáris találású „Víz a tájba” program megvalósíthatóságát megbeszélni.

Ezért rendeztük meg 2025 novemberében az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) Vízügyi Tudományos Tanácsának támogatásával a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem dísztermében a „Víz a tájban – klímaadaptáció konfliktusokkal” című konferenciát (*Hidrológiai Közöny 106/5. különszám: <https://ojs.mtak.hu/index.php/hidrologiaikozlony>*). Tettük ezt azért, mert azt láttuk, hogy bár nagyon nagy az egyetértés abban, hogy a vizet meg kell tartani, és elsősorban a talajvízszinteket kell emelni, de sokkal inkább a diagnózis van napirenden, mint a terápia. Ez utóbbi, vagyis a terápia, vagy nagyon kis hatékonyságú, vagy óhaj szintjén van jelen.

Mi azt mutattuk be sok szakterület sok előadójának felkérésével, hogy mely problémák tisztázatlanok, milyen előítéletek és tévhitek sorakoznak a valóban sikeres megoldások előtt. Ott lényegében két dolgot szorgalmaztunk, illetve kezdeményeztünk. Először is az akkor még a vízgazdálkodásért felelős Energiaügyi Minisztériumnak javasoltuk, hogy indítson egy, a víz-alapú klímaadaptációs program kidolgozását célzó munkát a leginkább veszélyeztetett Alföldre. A

minisztérium a program kidolgozásának szakmapolitikai, módszertani, tudományos és jogi következményeit nem ismerte fel, és nem indította el a programot. Most látszik igazán, hogy ez mekkora hiba volt. Másodszor, ígértük, hogy az MHT kereteiben lehetőséget teremtünk a szakterületek véleményének ütköztetésére és a véleménykülönbségek konszenzus mentén történő feloldására. Az MHT keretében a szakmai konzultációt mintegy 20 fővel, számos szakterület jelenlétével, még 2025 decemberében megkezdtük. És ez év márciusában egy sajtóreggeli keretében (ahol 13 média képviseltette magát), számoltunk be az addig konszenzus mentén körvonalazódó egyetértésekről. Ezt a munkát folytatni tervezzük, mert ha valami hiányzik a siker fegyvertárából, az a szakmai álláspontok tisztázása és egymás megértése. Ezért lesz a ma délutánra meghirdetett pódiumbeszélgetés témája a konszenzuseresés problémáinak és eredményeinek a megvitatása. Kölcsonón meg kell értenünk törekvéseink teljesíthetőségének korlátait és határait.

Ennek kapcsán a Magyar Hidrológiai Társaság munkáját, törekvéseit és gondolkodását vezérlő alapelvként hadd idézzem az általam Vásárhelyinél is nagyobbann tartott elődünk, Kvassay Jenő 1875-ben közölt véleményét:

„a lecsapolásoknál a vízfelületek átalakító befolyásának az éghajlatra vonatkozólag, igen kevés, úgy szólván semmi jelentőséget sem tulajdonítottak. A mocsarak, lápok és tavak lecsapolása egész mániává fejlődött ki, mely a pillanatnyi haszon kedvéért feláldozza a legtartósabb és legbiztosabb jövőt.”

A vízépítés kultúrmérnökének 150 évvel ezelőtti állásfoglalását idéztem. A lecsapolások ellen emelte fel a hangját és azok mégis végbementek, annak ellenére is, hogy Ő a Kultúrmérnöki Intézmény vezetője volt. Bármennyire is óhajtjuk tehát a szakmai alapokon nyugvó vízgazdálkodást képviselni, ahhoz a tudásnál több kell: elfogadás és persze forrás, pénz.

Tehát Társaságunk működéséhez is források kellenek. Működésünk alapját az egyéni és jogi tagdíjbevételek adják, ami kiteszi a teljes évi kiadásunk több, mint 50 %-át, a saját tevékenységünkéből származó bevételek a kiadásaink mintegy 30%-át fedezik, a maradékot cégek, vállalkozások támogatása teszi ki. A számos bizonytalansággal terhelt költségvetésünket 2024-ben 10 millió Ft-os, 2025-ben 6 millió Ft-os, és 2026-ot is majdnem 10 millió Ft-os bevételi hiánnyal terveztük. Ezzel szemben 2024-ben félmillió, 2025-ben majdnem 2 millió Ft eredménnyel zártunk. Ez elsősorban annak köszönhető, hogy a tagdíj befizetési fegyelem nőtt, a támogatások kedvezően alakultak, amit úgy értékelünk, hogy egyre többen ismerik fel, hogy érdemes ránk áldozni. A másik ok, hogy a 2024-ben elhatározott saját vállalkozásaink egyre sikeresebbek. És hogy ez még inkább így lehessen, alapszabályunk ez irányú módosítását is elvégeztük. Reméljük, és ezért mindent megteszünk, hogy a 2026-os év is sikeres lesz.

E gondolatok jegyében a Magyar Hidrológiai Társaság XLIII. Országos Vándorgyűlését megnyitom,

sikeres és eredményes munkát, mindazonáltal kellemes és hasznos időtöltést kívánok!

Dr. Váradi József társelnök megnyitóját követően dr. Gémesi György, Gödöllő Város polgármestere, Láng István, az Országos Vízügyi Főigazgatóság főigazgatója, valamint Szöllőssy Gábor, a Budapesti és Pest Vármegyei Mérnöki Kamara elnöke üdvözölte a Vándorgyűlés résztvevőit.

A köszöntők után sor került az MHT 2026. évi nívódíjainak átadására, melyeket idén dr. Karches Tamás *„Szennyvíztisztítás modellezése: Telepszintű modellek; Szennyvíztisztítás modellezése: Műtárgyhidraulikán alapuló modellek”* című oktatási anyagára vonatkozó pályázata, valamint a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Kis-Balaton Szakasz-mérnökség és Vízügyi Laboratórium *„A Kis-Balaton Vízügyi Rendszer üzemeltetése”* című pályázata nyerte el.

A díjak átadását követően Horváth Balázs, az Élő Környezetért Felelős Minisztérium helyettes államtitkára tartott nyitóelőadást *„A vízgazdálkodás aktuális kérdései”* címmel, majd prof. dr. Gyuricza Csaba, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem rektora tartotta meg előadását *„Aszálystratégia a mezőgazdaságban”* címmel. Ezt követően prof. dr. Bozó László, akadémikus, a MATE Környezettudományi Intézet Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszékének egyetemi tanára tartott előadást *„A vízkörforgalom változásának légkörtudományi háttere és következményei Magyarországon”* címmel. Az előadók sorát prof. dr. Szilágyi József, az akadémia levelező tagja, a BME Építőmérnöki Kar Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének egyetemi tanára zárta *„Párolgás és vízmérlegek: néhány hazai és nemzetközi példa”* című előadásával. A plenáris előadásokat követően került sor az MHT és a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem között korábban létrejött jogi tagi megállapodás megújítására és ünnepélyes aláírására.

Az első nap délutánján a korábbi évekhez hasonlóan pódiumbeszélgetésre került sor. Ebben az évben a téma *„A vízkörforgás válsága”* volt, a beszélgetést pedig prof. dr. Bíró Tibor, a Nemzeti Közzolgálati Egyetem egyetemi tanára, egyben az MHT alelnöke moderálta. A pódiumbeszélgetés résztvevői dr. Samu Andrea, a WWF Magyarország Élő Folyókák programjának szakértője, Balogh Péter geográfus, a Vízválasztó Mozgalom elnöke, dr. Dobos Endre agrármérnök, a Magyar Talajtani Társaság elnöke, Paragi Márton, a Mezőgazdasági Szövetkezők és Termelők Országos Szövetségének főtitkára, valamint dr. Váradi József vízepítő mérnök, az MHT társelnöke voltak.

A Vándorgyűlés második napján, a MATE Szent István Campus Szakmúzeumának épületében 6 szekcióban közel 90 előadás hangzott el.

Vízkárelhárítási szekció

A vízkárelhárítás szekció 15 magas színvonalú előadásnak adott teret. 2025-ben ugyan nem volt árvíz, ennek ellenére a legtöbb előadás az árvíz kockázatok vizsgálatával és kezelésével foglalkozott. Hallhattunk a felső-tiszai monitoring, és előrejelző rendszer legújabb fejlesztési eredményeiről és a középtávú vízszint-előrejelzés módszertanának fejlesztéséről, az árvízvédelmi töltések

gyenge szakaszainak talajmechanikai kérdéseiről, illetve a települési árvízi biztonság javítási lehetőségeiről. Történeti visszatekintés foglalkozott a Tiszán előfordult árvizekkel és a szabályozás előtti Tisza 2D hidrodinamikai modellezésével. Egy előadás nyomán betekintést nyerhetünk a Duna medersüllyedésének okaiba, köztük a folyón épült vízlépcsők és az ipari méretű kotrások hatásaiba és várható hidrológiai következményeibe. Foglalkoztunk a töltéskeresztező műtárgyak állapotvizsgálatával és ezen műtárgyak szerepének megváltozásával. A belvíz levezetése mellett egyre inkább szükséges ezen műtárgyak területi vízpótlásba való bevonása, ami a zsilipek működtetésének és üzemeltetésének újragondolását teszi szükségessé, különösen árvízi időszakban történő igénybevétel esetén. Mivel továbbra is gondot okoz a Tisza mellékfolyóin érkező makroműanyag-szennyezés, ezért ennek monitorozása és levonulásának modellezése segíti a probléma kezelését. A lakosság árvízi felkészítésében segítséget adhat az okostelefonok használata. Egy érdekes előadás keretében került ismertetésre az az újonnan fejlesztett élményalapú okostelefonos alkalmazás, melyet magyar közreműködéssel, nemzetközi projekt keretében fejlesztettek.

A *„Szekció kiemelkedő dolgozata”* elismerő címet: Keve Gábor – Márkus Zsolt László – Szántó György – Veres Miklós – Weisz Zsolt – Szkaliczki Tibor: *Lakosság árvízi felkészítése élményalapú okostelefonos sétával*, valamint Lucza Zoltán – Szabó János Adolf: *A Felső-Tiszai monitoring és előrejelző rendszer 2001. évi rendkívüli árvíz óta történő fejlődésének bemutatása* című előadása kapta.

Vízkezelés-gazdálkodási szekció

A szekcióba összesen 19 dolgozat érkezett, ezek nagy része a felszíni vízkészlet-gazdálkodással foglalkozott, ezért a korábbi évektől eltérően nem választották el szigorúan egymástól a felszíni és felszín alatti vizek témaköreit. Szomorú eseménnyel kezdődött az ülés: megemlékeztünk Kertész József tagtársunkról, aki nagyon készült az idei vándorgyűlésre is, dolgozatot írt Európa egyik legnagyobb folyórehabilitációjáról, a szigetközi vízpótlás kiépítéséről, ám május 24-én váratlanul elhunyt. A délelőtti előadásokon élénk beszélgetés alakult ki a dinamikus vízkészlet-gazdálkodási modellek gyakorlati alkalmazásáról. A 2025. és a 2026. évi vízhiány is megmutatta, hogy ezek a modellek ugyan sokat fejlődtek, de ma még nem használhatók az operatív üzemeltetésben. Nagyon érdekesek voltak azok a vizsgálatok és modellezési eredmények is, amelyek nagyobb térségek (Tisza-völgy, Nyugat-Dunántúl) vízháztartásának változását mutatták be az éghajlatváltozás figyelembevételével. A hozzászólások is megmutatták, hogy nagyon izgalmas kérdéseket járt körül dr. Kozák Péter és Szalma Elemér dolgozata a táji vízigény meghatározásáról. A számos érdekes esettanulmány bemutatása mellett a délutáni részben két előadás is foglalkozott a bányatavak úszó napelemekkel történő lefedésének hatásaival.

A *„Szekció kiemelkedő dolgozata”* elismerő címet: Kozma Zsolt – György Máté – Decsi Bence – Ács Tamás – Chappon Máté – Peter Burek: *Vízmérleg forgatókönyvek modellezése a Tisza-vízgyűjtőn: tapasztalatok a Danube Water Balance Projekt legnagyobb nemzetközi pilot-területéről* című dolgozata kapta.

Területi vízgazdálkodási szekció

A szekcióban délelőtt és délután is mintegy 60-70 fő részvételével, összesen 20 előadás hangzott el, kitüntetetten a vízhiány, vízviSSzatartás, aszálykezelés, talajvízútánpótlás, ökológiai vízpótlás és öntözés témakörökben. Jellemző, hogy a területi vízgazdálkodás szekció évről-évre aktuális mezőgazdasági vízháztartási kihívások kezelésére helyezi a hangsúlyt, mely nem meglepő módon az utóbbi néhány esztendőben inkább a vízhiány kezelésének kérdéskörét érinti. 2026-ban tulajdonképpen – a két felvezető prezentáció kivételével – minden előadás az aszálykezeléshez volt köthető. A hallgatóság aktivitása, vitakészsége is kiemelkedő volt, ami jelzi a szakma kitüntetett figyelmét. Az ország keleti (szárazabb) és nyugati (nedvesebb) területeiről is hallhattunk beszámolókat értékes tapasztalatokról, melyek segíthetik az aszály elleni védekezés stratégiai tervezését. Az előadások alapján egyértelmű a következtetés, hogy a vízügyi szolgálat lassan már évtizedes múltra visszatekintően tesz megelőző intézkedéseket a témában: új üzemrendek kialakítása, a víz megtartása csatornában, holtágakban, tározókban; a víz kivezetése, pótlása és a gazdálkodók/területhasználók által felajánlott területek elárasztása. Sajnos elmondható, hogy a megtett intézkedések „láthatósága”, így a társadalmi elfogadottsága és elismertsége mérsékelt, ami a kommunikáció fejlesztésének fontosságára hívja fel a figyelmet. A civilek ad hoc jellegű beavatkozásai – elsősorban a közösségi médián keresztül – jóval nagyobb figyelmet kapnak, a vízügy jogszabályi keretek közé szorított szisztematikus szakmai tevékenységét mintha nem akarná/szeretné látni az államigazgatás legfelsőbb vezetése, és persze emiatt nem is ismeri el.

A „Szekció kiemelkedő dolgozata” elismerő címet: Kozák Péter – Benyhe Balázs: *Területi csapadékösszegek változásának értékelése a külföldi tapasztalatok tükrében*, valamint Szamosvári István: *Vízmeztartás a vízügyi ágazatban: új üzemrend* című dolgozatai kapták.

Települési vízgazdálkodási szekció

A szekcióban rendkívül színvonalas előadások hangzottak el. A délelőtti folyamán főként az ivóvízellátás kérdései kerültek megvitatásra: az ivóvízhálózatok mikrobiológiai kockázatának ismertetésétől az ivóvízbázis-védelem kérdéseinek bemutatásán keresztül a megfelelő szelvények kiválasztásán át a víziközmű-fejlesztési lehetőségek bemutatásáig. A délelőtti és a délutáni szekciót a csapadékvíz-kérdéskört érintő előadások kapcsolták össze. A délután folyamán nagyobb hangsúlyt kaptak a szennyvíztisztítás aktualitásait tárgyaló témák, úgymint az energiatakarékos üzemeltetési megoldások, a mikroszennyezők eltávolításának lehetőségei, az egyedi és a természetközeli szennyvíztisztító rendszerek alkalmazhatósága, valamint a tisztított szennyvizek befogadóra gyakorolt hatásai.

A „Szekció kiemelkedő dolgozata” elismerő címet: Bozán Csaba – Túri Norbert – Kajári Balázs – Körösparti János – Grósz János – Waltner István: *A települési csapadékvíz- és belvízelvezető hálózatok összekapcsolásának lehetőségei*, valamint Engi Zsuzsanna – Bányainé Budai Katalin: *Záporkiömlők, vészkiömlők problémája a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság területén. Jelenlegi helyzet – megoldandó problémák – megoldási javaslatok* című dolgozatai kapták.

Vízhasználat és környezete szekció

A szekción belül 11 előadás bemutatására nyílt lehetőség. A rendkívül színvonalas előadások témakörei több tudományterület széles választékát ölelték fel. A szekció főbb témakörei a vízviSSzatartás, a vízminőség, a felszíni lefolyás modellezés, a beszivárgás, a vízellátás, a vízkezelés, nádasok fragmentációja és az élőhely-revitalizáció voltak. Külön színfoltként jelent meg a Csörsz-árok vízügyi hasznosíthatósága, és – új régészeti témaként – a vízimalmok története. Az előadások iránti érdeklődést jól mutatta, hogy szinte minden előadás „teltház” előtt zajlott, a terem megtelt igen aktív érdeklődőkkel. Az előadásokat élénk vita és hozzászólások követték.

A „Szekció kiemelkedő dolgozata” elismerő címet: Kiss Katalin – Balogh Balázs – Kenderes Karsa – Tumó Krisztina – Mester János – Szántó Dániel: *Vízes élőhely revitalizáció nagyvárosi környezetben – LIFE Biodiverse City – Tervezési szakasz* című dolgozata kapták.

200 éve a víztudományokért szekció

A Magyar Tudományos Akadémia (MTA) idén – 2026-ban – ünnepli megalapításának 200. éves évfordulóját. Ez adott alkalmat arra, hogy az MHT vándorgyűlésén áttekintsük a hazai víztudományok fejlődését, jeleseit az életútját – különös tekintettel arra, hogy az MTA első mérnök tagjai éppen vízépítő mérnökök, Beszédes József és Vásárhelyi Pál voltak. A szekció létrejöttét Ijjas István professzor, az MHT korábbi elnöke kezdeményezte. A felhívásra 10 dolgozat érkezett be, és 11 előadás hangzott el. A bevezető előadást Bogárdi János tartotta: „*A (víz)tudomány jövője annak múltjára épül*” címmel, támaszkodva a kezdeményező Ijjas István tárgyi dolgozatára. Kiemelt érdeklődést váltott ki Honti Márk „*Bevezető gondolatok: a víztudományok kihívásai, az MTA és az MHT várható szerepe a kihívások kezelésében*” című előadása. Különösen biztató, hogy az MHT törzstagjain kívül két történész is részt vett előadóként a szekcióülésén.

A „Szekció kiemelkedő dolgozata” elismerő címet: Fejér László Jenő: *Az MHT tagjainak részvétele a vízgazdálkodás múltjának tudományos feltárásában*, valamint Szilágyi Lajos: *Kovács György, az MTA levelező tagja (1925-1988), illetve Szesztay Károly, az MTA doktora (1925-2013) című dolgozatai kapták.*

A záró plenáris ülésen Baross Károly főtárgyaló rövid áttekintést adott a rendezvényről, a szakmai szekciók legfontosabb témáiról, megállapításairól, majd sor került az egyes szekciók kiemelkedő dolgozatainak elismerésére, melyekhez ezúton is gratulálunk. A plenáris ülés zárásaként prof. dr. Bíró Tibor, az MHT alelnöke, egyúttal a Nemzeti Közzolgálati Egyetem (NKE) egyetemi tanára hívta meg a Magyar Hidrológiai Társaságot és a szakembereket Bajára, a 2027. évi XLIV. Országos Vándorgyűlésre. A konferencia házigazdája a Bács-Kiskun Vármegyei Területi Szervezet, valamint az NKE Víztudományi Kara lesz.

A második nap délutánján a résztvevők a MATE történetéről és létesítményeiről hallgathattak meg ismertetést, majd rövid sétát tettek a Gödöllői Királyi Kastély parkjában.

A vándorgyűlés harmadik napján tartott szakmai tanulmányúton a résztvevők először szakmai vezetéssel egybekötött látogatást tettek a Hawle Kft. szentendrei

telephelyén, majd megtekintették a Fővárosi Vízművek rákosszentmihályi medencéjét. A programot a Kvassay-zsilip szakmai vezetéssel egybekötött megtekintése zárta.



2. kép. A szakmai tanulmányút állomásai (Fotó: Hamar Barbara. és Barna Kata)
Picture 2. Stations of the study tour (Photo: Barbara Hamar and Kata Barna)

A rendezvény kiemelt támogatója a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (KDVI) volt. A Közép-Duna-völgyi Területi Szervezet és az OVF Üzemi Szervezet tagjai, valamint a KDVI munkatársai a rendezvény szervezésében és lebonyolításában nyújtottak kimagasló segítséget.

Az MHT vándorgyűlés dolgozatait tartalmazó tanulmánykötet az alábbi linken érhető el: <https://www.hidrologia.hu/vandorgyules/43/>

Hamar Barbara és Major Veronika

Ifjúsági sarok



A Hidrológiai Közlöny elkötelezett a szakemberek következő generációjának nevelésében. Ennek a küldetésnek a részeként az Ifjúsági Sarok oldalai lehetőséget biztosítanak a középiskolás diákoknak a kutatási eredményeik bemutatására. Büszkeséggel adunk számot a 2026. évi Stockholmi Junior Water Prize magyar sikeréről.



Hatalmas magyar siker a 2026-os Stockholm Junior Water Prize nemzetközi döntőjében

Magyarország 2013-ban csatlakozott a Stockholm Junior Water Prize nemzetközi versenyhez, melynek hazai fordulóját azóta is a GWP Magyarország Alapítvány szervezi. A hazai zsűri munkáját Szöllősi-Nagy András professzor vezeti, akinek és a többi zsűritagnak a személyes figyelme rengeteget segít a fiatalok fejlődésében és felkészítésében a nemzetközi megmérettetésre. A verseny hosszú távú működéséhez elengedhetetlen a kiemelt támogatók, köztük az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) és a Xylem Magyarország következetes partnersége.

2026-ban Stockholmban kiemelkedő magyar siker született. A Stockholm Junior Water Prize 2026 nemzetközi döntőjén a mindössze 15 éves **Ivánka Laura „Diploma of Excellence”** elismerésben részesült. Laura a világ több mint 40 országának nemzeti győzteseiből álló mezőnyében érdemelte ki ezt a rangos díjat.



Viktória koronahercegnő adja át a Diploma of Excellence díjat Ivánka Laurának (Fotó: Stockholm Water Foundation)

A díjnyertes kutatás: „DIVE & CLEAN”

- Magyarországot idén Ivánka Laura, a British International School Budapest diákja képviselte a nemzetközi döntőben.
- Projektjének célja egy olyan megelőző stratégia kidolgozása, amely még azelőtt eltávolítja a vízbe került műanyag-hulladékot, mielőtt az mikroműanyaggá aprózódna.
- A „DIVE & CLEAN” koncepció egy alacsony költségű, szabadidős búvárok bevonásával működő víz alatti gyűjtőrendszer, melyet a fiatal kutató, Ivánka Laura Máltán végzett terepi tesztekkel is vizsgált.
- A nemzetközi zsűri külön kiemelte Laura munkájának gyakorlati megközelítését, a prototípusok folyamatos tesztelését és a lehetséges érintettek széles körének bevonását.

Laura sikere megerősíti a magyarországi verseny jelmondatát:

„Az ifjúság a víz jövője.”

Gratulálunk Laurának ehhez a kimagasló eredményhez!

GWP Magyarország

Nekrológ



„Nem az élet hossza számít, hanem a minősége!” – mondta minden alkalommal, amikor hosszú életet kívántunk neki.

Tóth József Békésen született. Bár szülei egyetlen gyermeke volt, mégis népes családi körben nevelkedett. Az alföldi paraszti életforma, a sátoros ünnepek, a nótázás és a népzene szeretete, a Körösök közelsége, valamint a gimnáziumi évek és a tornászegylet nyújtotta közösség jelentette a védőburkot a háború idején. A Rákosi-korszak nyers valósága azonban hamar elérte: kulákszármazása miatt nem tanulhatott tovább egyetemen, így Csepelen lett lakatosinas. Innen egy szerencsés félreértés folytán – munkásszármazásának vélték – felvételt nyert a Soproni Egyetem geofizikus szakára. Teljes lendülettel vetette bele magát a diákéletbe, a selmeci hagyományok ápolására egy nótáskönyvet is összeállított. A valétálásra való készülődésnek az 1956-os forradalom vetett véget. A soproni diákfelkelés aktív résztvevőjeként november 4-én Ausztriába kényszerült menekülni, oldalán erdészmérnök-hallgató menyasszonyával, Erzsikével.

Menekültútjuk az Utrechti Egyetemre vezetett, ahol leckekönyv hiányában előről kellett kezdenie tanulmányait. A holland kormány és a lakosság gáláns támogatásának köszönhetően tandíjmentesen tanulhatott, ami nemcsak megkövetelte, de lehetővé is tette számára a holland, az angol, a francia és a német nyelv elsajátítását. Diplomája megszerzését követően, 1961-ben figyelt fel a kanadai kormány geofizikusi álláshirdetésére, s így már családapaként, feleségével és két kislányával Edmontonban telepedett le.

Kanadában valóban új távlatok nyíltak meg előtte. Felszín alatti vízkutatással kezdett foglalkozni, s a megszerzett gyakorlati tapasztalatok egy újszerű elmélet megalkotására sarkallták. 1962-ben dolgozta ki az egységmedence (Unit Basin) áramlási koncepcióját: matematikai alapokon vezette le a hierarchikusan egymásba ágyazott felszín alatti áramlási rendszerek topológiáját, pontosan definiálva a be- és kiáramlási zónák mintázatát helyi, átmeneti és regionális áramlási rendszerekre osztva. A Journal of Geophysical Research folyóiratban 1962-ben („A Theory of Groundwater Motion in Small Drainage

Tóth József

(Békés, 1933. június 22. – Edmonton, Kanada, 2026. július 3.)

Basins in Central Alberta, Canada”), illetve 1963-ban („A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins”) megjelent úttörő publikációi alapjaiban változtatták meg a felszín alatti vizekről alkotott képet. Ezek a tanulmányok – amelyeket a Google Scholar adatai szerint azóta csaknem négyezer-ötszáz alkalommal idéztek – képezték az alapját az 1965-ben egykori alma materében, az Utrechti Egyetemen megvédett doktori értekezésének. Dolgozatában Olds település vízellátásának problémáját oldotta meg: az elmélete alapján jelölte ki és fúratta meg a vízkutakat. Munkájának emlékét a mai napig emléktábla őrzi a helyszínen.

Tóth József a felszín alatti vizeket aktív földtani tényezőként értelmezte. Szemléletformáló elmélete nemcsak a szikesedés jelenségére adott magyarázatot, hanem az egymás közvetlen közelében található, mégis eltérő kémiai összetételű vizek eredetére, a felszíni növényzet zónásságára, egyes talajmechanikai folyamatokra, valamint a szénhidrogének migrációjának és hidrodinamikai csapdázódásának sajátosságaira is. A „kőolaj hidrogeológia” alapjait 1978-ban a Water Resources Researchben publikált cikke fektette le („Gravity-induced cross-formational flow of formation fluids, Red Earth region, Alberta, Canada: Analysis, patterns, and evolution”), amit később Eric Dahlberg vezetett be az ipari alkalmazásba „Applied Hydrodynamics in Petroleum Exploration” című könyvében 1982-ben.

Munkássága elismeréseként meghívást kapott az Edmontoni Egyetemre, ahol kezdetben vendégprofesszorként, majd 1980 és 1996 között kinevezett egyetemi tanárként oktatott, ezt követően emeritus professzorként dolgozott tovább. Saját iskolát teremtve hidrogeológusok egész generációját nevelte ki a világ minden tájáról, szakértőként pedig öt kontinens számos országában megfordult. Meghatározó szerepet vállalt a Nemzetközi Hidrogeológiai Szövetség (IAH) Kanadai Nemzeti Tagozatának 1972-es, majd három évtizeddel később a Magyar Nemzeti Tagozatának megalapításában is. 1979 és 1998 között az Atomic Energy Canada Limited független szakértői bizottságának volt oszlopos tagja (Technical Advisory Committee). Itt dolgozta ki a beáramlási területek koncepcióját veszélyes hulladékok elhelyezésére alkalmas területek felkutatására („Recharge Area Concept”, Toth és Sheng).

Egyik leghőbb vágya volt, hogy magyar diákokat is taníthasson, és a Nagyalföld hidrogeológiája, illetve kőolaj-hidrogeológiai elemzése „nemzetközi paradigmává” válhasson, – idézzük szó szerint Jóskát –, amire a rendszerváltást követően nyílt lehetősége. Első magyar hallgatója 1995-ben kezdett az alföldi projekten dolgozni, majd 2001-ben szerzett doktori címet Edmontonban. Ezt követően rendszeresen hívott meg hazai fiatalokat hosszabb-rövidebb ösztöndíjakra Kanadába, megnyitva előttük a nemzetközi érvényesülés kapuit.

Nyugdíjazása után feleségével – aki egész életében szilárd támasza volt – alapítványt hozott létre az ELTE-n

a hazai hidrogeológia oktatásának és kutatásának támogatására. Ugyanilyen elkötelezettséggel segítette a menekült diákok tanulmányait felkaroló hollandiai alapítványt is. Hűségese maradt szülővárosához is, ahová rendszeresen visszalátogatott, s amely hálája jeléül díszpolgári címet adományozott neki. A 2000-es évek elején három évre hazatelepült, és az Eötvös Loránd Tudományegyetemen talált otthonra. Munkásságának tárgyi hagyatékát is az ELTE gondjaira bízta.

Pályafutását végigkísérték a rangos elismerések. Pályája kezdetén, 1965-ben a „Geological Society of America Hydrogeology Division” elsőként neki ítélte oda az O. E. Meinzer Awardot. Ezt követte 1999-ben a Nemzetközi Hidrogeológiai Szövetség (IAH) President’s Awardja, 2002-ben a Canadian Geotechnical Society és az IAH Kanadai Tagozata által adományozott Robert N. Farvolden Award, majd 2003-ban a National Groundwater Association M. King Hubbert Science Awardja, 2004-ben pedig az American Institute of Hydrology C. V. Theis Awardja. Az IAH 2012-ben választotta tiszteleti tagjává, a magyar állam pedig 2013-ban a Magyar Érdemrend középkeresztje polgári tagozata kitüntetéssel ismerte el életművét. 2016-ban a Magyar Tudományos Akadémia külső tagjává választotta. Hatalmas megtiszteltetésként élte meg, hogy az IAH Kanadai Nemzeti Tagozata róla nevezte el a legkiemelkedőbb hidrogeológiai

előadást vagy tanulmányt bemutató hallgatóknak és pályakezdő kutatóknak járó elismerést – Tóth Award for Best Student Paper.

Büszke volt tornásztudására – még nyolcvanévesen is rendszeresen szertornázott –, valamint klarinétjátékára, amelyben élete végéig örömet lelt. Sokoldalú, ugyanakkor rendkívül megfontolt személyiség volt. Szenvedélyes vadászként a terepen érezte igazán elemében magát. Mélyen érdekelte a magyar történelem, s különösen Széchenyi István életútja villanyozta fel. Benne is hasonló újító erő munkált, amelyet fűtött a hazájukat elhagyni kényszerűlök felelőssége és bizonyítási vágya is.

Mikor már nem utazhatott, azt kérte magyarországi látogatóitól, hogy békési szilvapálinkát vigyenek ajándékkul, a legalisan bevihető 1 imperial quart mennyiséget, ami 1,14 liternek felel meg. Nyomatékosan felhívta a figyelmet, hogy ez több mint egy liter, s mosolyogva mondta: „Ugye nem akartok megrövidíteni 3 kupicával!”

Nyugodj békében!

Szanyi János, Kovács Balázs, Almási István



Tóth József a magyar csapat tagjaival, valamint korábbi kínai diákjával az IAH 2012-es Kongresszusán a Niagara vízesésnél

Nekrológ



Életének 86. évében, 2026. augusztus 15-én elhunyt Szabó Mátyás, a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság egykori igazgatója, aki teljes szakmai életútját a vízügyi igazgatóság kötelékében töltötte, húsz évig pedig azt igazgatóként irányította.

Már az egyetemi felvételi előtt a Székesfehérvári (utóbb Közép-dunántúli) Vízügyi Igazgatóság (KDTVIZIG) technikusa, vízmestere volt. 1965-ben szerzett okl. mérnöki diplomát a budapesti Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetemen (ÉKME), a BME egyik jogelőd intézményében. 1977-ben a BME-n okl. gazdasági mérnöki diplomát szerzett.

1965-től a KDTVIZIG Vízügyi Osztály főelőadója, 1967-től a Termelési Üzem előkészítési csoportvezetője, 1969-től Fejér megyei főépítésvezető, majd 1972-től székesfehérvári szakaszmérnök. Erre az időszakra esik a Velencei-tó nád és iszapkotrásának, valamint partvédőműveinek és kikötőépítéseinek legintenzívebb szakasza.

1979-től a vízügyi igazgatóság műszaki igazgatóhelyettese. Bekapcsolódott a Balatoni Vízgazdálkodási Program végrehajtásába, a Dunántúli-középhegység karsztvíz-gazdálkodási gondjainak megoldásába és a Duna jobb parti Tolna megyei szakaszán, valamint a Sió torkolati szakaszán az árvízvédelmi töltések fejlesztési

Szabó Mátyás

(Budapest, 1940. július 1. – Budapest, 2026. augusztus 15)

munkálataiba. 1983–2003 között, nyugdíjazásáig a KDTVIZIG (a szervezet neve időnként KDTKÖVIZIG volt) igazgatója. 2003 elején a környezetvédelmi és vízügyi miniszter a Balaton miniszteri biztosának nevezte ki.

Teljes szakmai pályafutását a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság kötelékében töltötte, amelynek munkáját évtizedeken át, pályafutása felében igazgatóként irányította, maradandó értékeket teremtve a vízügyi szolgálat és a közösség javára.

Szakmai tevékenységének fő területe a tószabályozás, vízgyűjtő rendezés, üdülőtavak rehabilitációja volt. 1979-től foglalkozott a Balaton vízgazdálkodásának kérdésével. A Velencei-tó fejlesztéséért 1985-ben megosztott Állami Díjat kapott. A Vízügyi Közlemények szakfolyóiratban megjelent „A Velencei-tó vízházartása” című tanulmányaért 1999-ben megkapta az MHT Vitális Sándor Szakirodalmi nívódíját.

Tagja volt a Balatoni és a Velencei-tavi Intézőbizottságoknak. A Balaton vízminőségi problémáinak megoldására részt vett a Balatoni Vízgazdálkodási Program módosításának kidolgozásában és a fontos vízvédelmi intézkedések meghozatalában. 1998–2002 között részt vett a tiszai és dunai árvizek elleni védekezésekben.

Szakmai munkásságát számos állami kitüntetéssel ismerték el, többek között birtokosa a Magyar Köztársasági Arany Érdemkeresztnek (2001), és a Vásárhelyi Pál-díjnak (2000, 2016). 2004-ben Fejér megye díszpolgárává avatták.

1963-tól volt a Magyar Hidrológiai Társaság tagja, 1985-től az MHT elnökségének tagja, 1990-től 2006-ig az MHT Közép-dunántúli Területi Szervezetének elnöke, 2007-től 2019-ig az MHT Kitüntetések Bizottságának elnöke. Kiemelkedő közösségi munkájáért az MHT több esetben kitüntette, így birtokosa volt a Pro Aqua-émlékéremnek (1997), a Kvassay Jenő-díjnak (2007). 2015-ben a Magyar Hidrológiai Társaság Tiszteleti tagja címmel tüntették ki.

Szabó Mátyás maradandó értéket teremtett a vízügyi szolgálat és a közösség javára.

Emlékét kegyelettel megőrizzük!

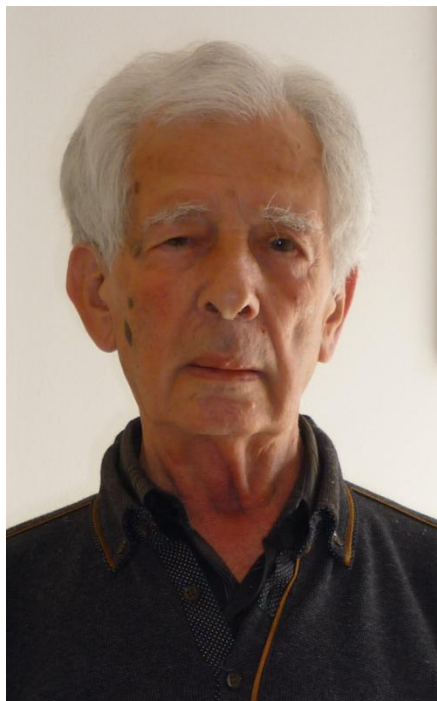
Szlávik Lajos



Nekrológ

Csatári András

1940.05.11. Dévaványa – 2026.06.20. Mosonmagyaróvár



Életének 86. évében elhunyt Csatári András, aki a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet (VITUKI) munkatársaként több mint fél évszázadon keresztül volt a hazánkban zajló vízrajzi mérések egyik meghatározó alakja.

A dévaványai születésű szakember a békéscsabai Vársárhelyi Pál Hid- és Vízműépítési Technikumban szerzett oklevelet 1959-ben, majd azonnal a VITUKI dolgozója lett, ahol főként geodéziai ismereteit kamatoztatta. Munkavezetőként nem csupán a mérési munkákat irányította, hanem a mérőcsoport utaztatása, ellátása, elszállásolása is feladatai közé tartozott.

Magyarország szinte minden jelentős felszíni vizén végzett felmérést. A közreműködésével készült térképeket, adatsorokat napjainkban is használják vízügyi szakembereink. Műszaki egyetemisták és pályakezdő mérnökök tucatjai szerezhettek mellette gyakorlati tudást. Igyekezett lépést tartani a technika fejlődésével: így jutott el a teodolittól és a logarléctől a műholdas alapú, a mederről háromdimenziós képet alkotó mérőrendszerek alkalmazásáig.

Hajóvezetői képesítést is szerzett. A VITUKI-ban vízgazdálkodási szakértővé és tudományos segédmunkatárssá nevezték ki. Többször kapott vezérigazgatói, majd miniszteri elismerést. Pályafutása csúcscsaként emlegette a Duna-delta uniós projekt részeként történő felmérését. Nyugdíjba vonulása, illetve a VITUKI megszűnése után is aktív maradt: a 2013-as dunai rekordárvíz idején méréseivel járult hozzá az eredményes védekezéshez.

Feleségével is egy mérés kapcsán ismerkedett meg. Évtizedeken át Dunaszigeten élt családjával, megözygyűlése után pedig Mosonmagyaróvárra költözött. Itt érte a halál egy gyors lefolyású betegség következményeként.

Távozása pótolhatatlan veszteség mindazok számára, akik ismerték és együtt dolgozhattak vele. Emlékét tisztelettel és hálával őrizzük.

Csatári Ákos, Rosza Péter



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

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

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

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

FORMAI KÖVETELMÉNYEK

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

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

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

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

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

A Hidrológiai Közlöny Szerkesztőbizottsága

From 2024, we will also accept manuscripts in English, which will be published in a separate volume. Detailed publication guidelines for manuscripts in English can be found at: https://www.hidrologia.hu/wp-content/uploads/2024/04/Hidrologiai-Kozlony-Kozlesi-Utmutato_ANGOL_kivonat.pdf

Editorial Board of the Hungarian Journal of Hydrology