

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY

HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 105. ÉVF. 4. SZÁM • 2025
JOURNAL OF THE HUNGARIAN HYDROLOGICAL SOCIETY • VOL. 105, ISSUE 4 • 2025



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

A HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY ELŐFIZETÉSE

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

Kiadványunk 2026. évi előfizetői díjai az alábbiak:

cégeknek 1-4. szám – 15 600 Ft / év

tagtársainknak 1-4. szám – 6 000 Ft / év

A megrendelés folyamatosnak minősül, azt lemondani előző év december 31-ig lehet.

Az árak az 5% Áfát, valamint a postaköltséget tartalmazzák.



Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

Főszerkesztő

Major Veronika

Főszerkesztő-helyettes és olvasószerkesztő

Konecsny Károly

Szakszerkesztő

Ács Éva

Szerkesztőbizottság elnöke

Szöllősi-Nagy András

Szerkesztőbizottság tagjai

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

Kiadó

Magyar Hidrológiai Társaság
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.
Tel: +36-(1)-201-7655
Fax: +36-(1)-202-7244
E-mail: titkarsag@hidrologia.hu
Honlap: www.hidrologia.hu
A Kiadó képviselője: Váradi József, a Magyar Hidrológiai Társaság társelnöke



Indexelik

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

Tartalomjegyzék

Major Veronika: Előszó 3

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

Szöllősi-Nagy András: Esszé a 21. századi hidrológiáról:
eredmények, kihívások, lehetőségek 4

Nyíri Gábor, Szűcs Péter: Parti szűrős rendszerek kezdeti
értékelésének módszerei 10

Dobai András, Bíró Tibor, Deák Tamás, Dobos Endre:
Talajfelszíni és digitális tér adatokkal bővített lefolyásmodell
összehasonlítása hagyományos lefolyásmodellekkel 22

FÓRUM – VÍZ A TÁJBAN

Váradi József: Klíma adaptáció konfliktusokkal 47

TÖRTÉNELMI PILLANATKÉP

Albert Gábor: Faludi Gábor és a bajai Türr István-kutatás első
szakasza 51

Szabó Balázs: A budai Vár Fortuna utca 21. számú épület
barlangpincéjének vízgyűjtő medencéje, kútja és az ott lévő
fa vízcső 57

ESEMÉNYEK

Tamás János, Nagy Attila, Kiss Nikolett Éva: Víz Világnapja
2025 – Integrált Települési Vízgazdálkodás kihívásai
Debrecenben 76

Major Veronika: A negyedik Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv
elkészítése – projektnyitó esemény 81

KÖSZÖNTŐ

Major Veronika: Szilágyi József akadémikus, a Magyar
Tudományos Akadémia levelező tagja 82

NEKROLÓG

Somlyódy László – Major Veronika megemlékezése 84

Címlapkép: Az aszály miatt visszahúzódott vízfelület 2025 októberében a Balaton déli partjainál (MetFigyelő/Horváth Nikolett fotója)



Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society
Published quarterly

Editor-in-Chief

Veronika MAJOR

Deputy Editor-in-Chief and Copy Editor

Károly KONECSNY

Assistant Editor

Éva ÁCS

Editorial Board Chairman

András SZÖLLŐSI-NAGY

Editorial Board Members

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

Publisher

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



Indexed in

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

ISSN 2939-8495 (Online)

Contents

Veronika MAJOR: Foreword 3

SCIENTIFIC PAPERS

András SZÖLLŐSI-NAGY: An essay on 21st century hydrology: Achievements, challenges, opportunities 4

Gábor NYIRI, Péter SZÜCS: Early-stage evaluation of riverbank filtration 10

András DOBAI, Tibor BÍRÓ, Tamás DEÁK: Comparison of a runoff model enhanced with soil and digital spatial data to conventional runoff models 22

FORUM – WATER IN THE LANDSCAPE

József VÁRADI: Climate adaptation with conflicts 47

HISTORICAL SNAPSHOT

Gábor ALBERT: Gábor Faludi and the Türr István research in Baja 51

Balázs SZABÓ: The water cistern, well and wooden water pipe of the cave cellar of the building at 21 Fortuna Street in Buda Castle 57

EVENTS

János TAMÁS, Attila Nikolett Éva NAGY, KISS: World Water Day 2025 – Challenges of Integrated Urban Water Management in Debrecen 76

Veronika MAJOR: Preparation of the fourth River Basin Management Plan – project opening event 81

SALUTATION

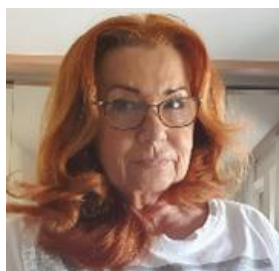
Veronika MAJOR: Academician József Szilágyi, corresponding member of the Hungarian Academy of Sciences 82

OBITUARY

László SOMLYÓDY – Commemoration by Veronika MAJOR 84

Cover photo: Water surface receding due to drought on the southern shores of Lake Balaton in October 2025 (photo by MetFigyelő/ Nikolett Horváth)

Előszó



A Hidrológiai Közlöny 105. évfolyamának negyedik számának (2025/4) a főkuszába újra a legfontosabb szakmai kihívásaink kerültek! A „sok víz-kevés vízromló vízminőség” dilemma mája egész évben végig kíséri szakmai életünket.

A klímaváltozás, amelynek hatásai elsősorban a hidrológiai ciklust érintik, új próbatétel elé állítja a magyar hidrológiai és meteorológiai szolgálatokat. *Szöllősi-Nagy András: Esszé a 21. századi hidrológiáról: eredmények, kihívások, lehetőségek* című közleményében áttekinti a vízgazdálkodás jelenlegi főbb globális kihívásait, a hazai helyzetet, a főbb eredményeket, valamint az emergens feladatokat és a lehetséges megoldások körvonalait.

Nyiri Gábor és Szűcs Péter: Parti szűrőmű rendszerek kezdeti értékelésének módszerei című dolgozatukban a parti szűrőmű rendszerekkel kapcsolatos főbb korábbi eredményeket, valamint ezen rendszerek kezdeti értékelésében nagy segítséget nyújtó eszközöket mutatnak be.

A villámárvizek kezelése napjaink egyik legsürgetőbb vízgazdálkodási kihívásai közé tartozik, különösen a kisvízgyűjtők területein, ahol a rövid ideig tartó, de intenzív csapadékesemények aránytalanul nagy károkat okozhatnak. A hazai vízépitési gyakorlat a hidrológiai modellek és empirikus módszerek széles eszköztárát alkalmazza, ugyanakkor a pontosabb előrejelzésekhez elengedhetetlen a villámárvíz-érzékeny területek térképezése, az érintett vízgyűjtők értékelése és a várható vízhozamok becslése. *Dobai András, Bíró Tibor, Deák Tamás és Dobos Endre: Talajfelszíni és digitális téradatokkal bővített lefolyásmodell összehasonlítása hagyományos lefolyásmodellekkel* című közleménye a Cseres-völgy vízgyűjtőjét mutatja be, vizsgálva a várható vízhozamokat és a térinformatikai és távérzékelési adatokra épülő lefolyásmodell tesztelését

Magyar Hidrológiai Társaság vezetése úgy döntött, hogy a „Víz a Tájba Program” szakmai kérdéseiről vitákat szervez, fórumot teremt a nézetek ütköztetésére, elemezve a klímahatások elleni fellépés esélyeit, a siker lehetőségeit és feltételeit. A szakmai dialógus nyitó eseményként a Magyar Hidrológiai Társaság az OVF Vízügyi Tudományos Tanács támogatásával 2025. november 6-án a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Dísztermében „VÍZ A TÁJBAN – KLÍMAADAPTÁCIÓ KONFLIKTUSOKKAL” címmel konferenciát rendezett, melyen a vízügyi szakma képviselői mellett megszólaltak a tudósok, a döntéshozók és az újságírók is.

A Hidrológia Közlöny „VÍZ A TÁJBAN – KLÍMAADAPTÁCIÓ KONFLIKTUSOKKAL” című, „Víz a Tájba Program”-nak dedikált FÓRUM rovatában folyamatosan nyomon követi a projekt fejlődését. Örömmel tárjuk szélesre a

FÓRUM rovat kapuit az építő szakmai viták előtt, teret adva a korrekt információcserének, így támogatva a „Víz a Tájban” program sikerre juttatását.

A TÖRTÉNELMI PILLANATKÉP rovatunk *Albert Gábor: Faludi Gábor és a bajai Türr István-kutatás első szakasza* című közleményének időszzerűségét a Türr István emlékévé adja: az egykori szabadságharcos ugyanis 200 éve, 1825. augusztus 11-én született Baja városában.

Szintén A TÖRTÉNELMI PILLANATKÉP rovat ad helyet *Szabó Balázs: A budai Vár Fortuna utca 21. számú épület barlangpincéjének vízgyűjtő medencéje, kútja és az ott lévő fa vízcső* tanulmányának, mely segítségével a budai Várban a Fortuna utca 21. számú épületétől bejárhatjuk egész Európa vízcső kezelési gyakorlatát.

Az ESEMÉNYEK rovatban számolunk be a Debreceni Egyetem és a Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Labor szervezésében, a Víz Világnapja alkalmából 2025. március 24-én megtartott szakmai kerekasztal-konferenciáról, *Tamás János, Nagy Attila és Kiss Nikolett Éva: Víz Világnapja 2025 – Integrált Települési Vízgazdálkodás kihívásai Debrecenben* című közlemény segítségével.

Ugyancsak az ESEMÉNY rovat ad helyet *A negyedik Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv elkészítése projekt nyitó esemény* bemutatásának. A projekt nagy feladat elé állítja a tervezőket, hisz talán még soha nem szembesültünk ilyen sürgető vízgazdálkodási kihívásokkal.

A KÖSZÖNTŐ rovatunkban tisztelettel emelünk kalapot *Szilágyi József* a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének egyetemi tanára előtt, akit az MTA levelező tagjává választották.

Nehéz elfogadni, ha olyan embertől, barátától, tudóstól kell elbúcsúznunk, akinek kimagasló tudása, probléma megoldó képessége, kivételes egyénisége beragyogja a vizes szakmát. A NEKROLÓG rovatunkban tisztelettel búcsúzunk Somlyódy Lászlótól a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszékének Széchenyi-díjas professzor emeritusától, az MTA rendes tagjától, sokunk barátjától.

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

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

Major Veronika
a Hidrológiai Közlöny főszerkesztője

Esszé a 21. századi hidrológiáról: eredmények, kihívások, lehetőségek

Szöllősi-Nagy András¹

¹ Nemzeti Közszerológiai Egyetem, Víz- és Környezetpolitikai Tanszék, Budapest, Magyarország (e-mail: andras.szollosi-nagy@gmail.com)

DOI: 10.59258/hk.20915



A közlemény első megjelenése: Szöllősi-Nagy, A. (2025). Esszé a 21. századi hidrológiáról: eredmények, kihívások, lehetőségek [An essay on 21st century hydrology: Achievements, challenges, opportunities]. *Scientia et Securitas*, 6(1-2), 73-79. <https://doi.org/10.1556/112.2025.00299>

Az újraközlés változatlan szöveggel történt, a Hidrológia Közlöny szerkesztősége a cikket a szerzői életrajzzal és az ahhoz tartozó fotóval egészítette ki

A Hidrológiai Közlöny köszönetét fejezi ki dr. Sabjanics Istvánnak, a *Scientia et Securitas* felelős szerkesztőjének a közlemény újraközlésének engedélyezéséért.

Összefoglalás

A közlemény megkísérli áttekinteni a vízgazdálkodás jelenlegi főbb globális kihívásait, a hazai helyzetet, a főbb eredményeket, valamint az emergens kihívásokat és a lehetséges megoldások körvonalait. Azzal érvel, hogy a népességdinamikai előrejelzések és a várható klímaváltozás tükrében a jelenlegi vízgazdálkodási gyakorlat nem tartható fenn a 21. században, ezért a víz lesz századunk egyik legnagyobb, ha nem a legnagyobb kihívása – globálisan és várhatóan lokálisan is. Globális változás és adaptáció szükséges a vízgazdálkodás minden szintjén, az integrált vízgazdálkodástól kezdve az intézményes felépítésen át az oktatásig és a kutatásig. Ez a megállapítás egyaránt érvényes a fejlődő és az iparosodott országokra. Különösen érvényes Magyarország vonatkozásában, ahol az elmúlt évtizedek a dezintegrált vízgazdálkodás aggodalomra okot adó példájával szolgáltak.

Kulcsszavak

Globális változások, vízgazdálkodási hatások, klímaváltozás, hidrológiai szélsőségek, nem-stacionaritás, adaptív vízgazdálkodás.

An essay on 21st century hydrology: Achievements, challenges, opportunities

Summary

The paper attempts to review current global challenges and opportunities in hydrology and water management, including local situations, the main achievements, as well as the emerging possible solutions. It argues that, in the light of population projections and projected climate change, current water management practices are not sustainable for the 21st century. Therefore, water will be one of the greatest, if not the greatest, challenges of the century – globally and locally as well. Global as well as local adaptation are needed at all levels of water management, from integrated water management to institutional design, education and research. This applies to both developing and industrialized countries. This was particularly true for Hungary, where the past decades have provided worrying examples of disintegrated water management.

Keywords

Global changes, water management impacts, climate change, hydrological extremes, non-stationarity, adaptive water management.

BEVEZETÉS – AVAGY A 20. SZÁZAD FOLYTATÁSA

Sokan úgy érvelnek, hogy ha az emberiségnek sikerül elkerülnie a 21. században a nukleáris holokausztot – ami mindenek felett álló, legfontosabb közös feladatunk –, akkor a következő megoldandó kihíváshalmaz nagy valószínűséggel a vízzel lesz kapcsolatban: a vízhez kötődő szélsőségek kockázatának várható növekedésétől a közegészségügyi helyzeten át a nemzetközi vízgyűjtőkön kialakuló lehetséges konfliktusok és/vagy háborúk elkerüléséig. A cikkben megkísérljük áttekinteni a honi vízgazdálkodásunk megkerülhetetlen peremfeltételeit jelentő főbb globális hidrológiai kihívásokat és meghajtókat, a hazai várható helyzetet és a lehetséges megoldások körvonalait. Körösi globális gondolatmenetét folytatva (*Körösi 2018*) azzal érvelünk, hogy a népességdinamikai előrejelzések és a várható klímaváltozás tükrében a jelenlegi vízgazdálkodási gyakorlat a 21. században nem tartható fenn, ezért a víz

lesz századunk egyik legnagyobb, ha nem a legnagyobb kihívása – globálisan és várhatóan lokálisan is.

A vízgazdálkodás minden szintjén globális változás és adaptáció szükséges, az integrált vízgazdálkodástól kezdve az intézményes felépítésen át az oktatásig és a kutatásig. Ez a megállapítás egyaránt érvényes a fejlődő és az iparosodott országokra, és sajnálatos módon különösen érvényes hazánkat illetően is, ahol az elmúlt közel három évtized a dezintegrált vízgazdálkodás aggodalomra okot adó példájával szolgált.

A 21. SZÁZADI VÁLTOZÁSOK FŐ MEGHAJTÓJA: A NÉPESSÉGNÖVEKEDÉS OKOZTA GLOBÁLIS KIHÍVÁSOK

A 20. századi népességgrobbanás következtében – amikor is a Föld népessége egy évszázad alatt 2 milliárdról 6 milliárdra háromszorozódott, miközben a vízkivételek mennyisége globálisan meghatszorozódott – kinyílt egy olyan

olló, amely gátolja humán és környezeti rendszereink fenntarthatóságát (UNESCO 2018). Az egy főre jutó éves átlagos vízkészlet 1975 óta drámaian lecsökkent: a megközelítően 15 500 m³/fő/év világátlagról 5000 m³/fő/év átlag-vízmenyiségre. Hangsúlyozandó, hogy ez a szám globális átlagot jelent a jelenlegi 8,2 milliárdos lélekszámú emberiségre vetítve (URL1), és igen nagy a szórás Kanada 120 ezer m³/fő/év adatától hazánk 11 700 m³/fő/év egy főre jutó vízmennyiségén keresztül Jordánia 120 m³/fő/év értékéig. (Ez utóbbi nem mellesleg az elmúlt évek során 70 m³/fő/évre csökkent a közel-keleti háborúk okozta migráció következtében.)

Hogy mennyire drámai a helyzet, azt talán egy sokkalóan szikár tény világítja meg a legjobban: beléptünk egy új korszakba, az antropocénba (Waters és társai 2016), amelynek során lényegesen megváltozott a víz körforgása, a hidrológiai ciklus is. Ma a Föld édesvízkészlete éppen annyi, mint amennyi a holocén klímaoptimum idején volt az 5000 és 9000 évvel ezelőtti periódusban. Az összes víz 97,5 százaléka tengerekben és óceánokban van. A maradék 2,5 százaléka a Föld édesvízkészlete. Ennek körülbelül 60 százaléka szilárd halmazállapotú víz, azaz jég és hó az Északi-sarkon, az Antarktikán, a gleccserekben, a magashegyi állandó hótakaróban és a szibériai permafroszton. A maradék 90 százaléka felszín alatti, nem megfagyott víz. Ami marad, az mindösszesen a 42 000 km³ könnyen hozzáférhető felszíni vízkészlet (Shiklomanov és Rodda 2003), amelynek 90 százaléka tavakban és tározókban, a maradék pedig folyókban és egyéb vízfolyásokban található.

A felhasználók számának fent említett növekedése az elsődleges oka a vízkészletek egy főre jutó radikális csökkenésének – és így a víz konfliktuspotenciálja növekedésének –, továbbá annak, hogy korunk vízgazdálkodási gyakorlata nem fenntartható, és sürgős paradigmaváltást tesz szükségessé. Ha folytatódnak az eddigi népesedési trendek – márpedig az ENSZ recens populációdinamikai előrebecslései szerint úgy tűnik, hogy ebben nem lesz nagy változás –, akkor száz év múlva a Földnek közel 11 milliárd lakója lesz (URL1). Ha folytatódik a népességnövekedés és a készlet(fel)használás/fogyasztás mostani üteme, akkor az emberiség addigra elérkezik a visszafordíthatatlanság tartományába, ahonnan már nincs visszatérés egy egyensúlyközeli tartományba, és ahol a rendszereink fenntarthatatlanná válnak. Vagyis száz éven belül várhatóan jelentősen degradálódnak – ha nem omlanak össze. Megjegyzendő, hogy a népességnövekedés üteme kimutathatóan lassul, és a logisztikus növekedéshez tart, vagyis egy a Föld eltartóképességét jelentő, említett 11 milliárdos felső határhoz, mivel a népesség a 22. század második évtizedéig még 4 milliárd emberrel fog nőni (URL1). A fejlődő országokban, elsősorban Ázsiában várható népességnövekedés – ahol már most is az emberiség 60 százaléka él a globális vízkészletek 36 százalékával – jelentősen növelheti a vízkészletekkel kapcsolatos regionális konfliktuspotenciált, mivel a 36 százalékos arány ugyanaz marad – a világ vízkészlete és globális térbeli eloszlása ugyanis közel változatlan –, a népesség azonban jelentősen meg fog nőni, még ha nagyjából marad is a 60 százalékos ázsiai részaránynál.

Mínderre, mintegy „rárakódik” a klímaváltozás és annak hatásai. Ennek a változásnak nagyjából a fele planetáris eredetű, a másik fele pedig antropogén – azaz itt sem ússzuk meg az emberi beavatkozás negatív hatásait.

Ebben a kontextusban sorsdöntő kérdés, hogy a fenntarthatóság fogalma nem oximoron-e. Nem csak egy politikai témáról van szó, amit a gyakorlatban lehetetlen megvalósítani? Egyre inkább úgy tűnik, hogy a fenntarthatóság kihívása igenis valós gond, és az emberiség túlélésének talán egyetlen záloga.

A globális hatásokat pedig nem lehet feltartóztatni a határokon. Így tehát el kell fogadnunk, hogy a lokális problémáknak globális peremfeltételeik vannak – és megfordítva. A fenntartható fejlődés és azon belül a fenntartható vízgazdálkodás tehát az emberiség és kultúrája fennmaradásának központi eleme. A víz köti össze a fenntartható fejlődés tizenhét célját – ha ugyanis a vizet (és a szennyvizekhez kapcsolódó szanitációt) kivesszük a rendszerből, akkor az összeomlik. A célok nem lesznek elérhetők. A globális vízválság nem azt jelenti, hogy „kifut” alólunk a víz, hiszen a hidrológiai körfolyamat szorgosan dolgozik ennek elkerülésén. A válság ott van, hogy az intézményeinkkel miként kormányozzuk a vizeinket. Milyen jogi keretet hozunk létre, és az milyen hatékonyan működik? Hogyan üzemeltetjük hidrometeorológiai észlelőrendszereinket, miként tesszük nyíltan hozzáférhetővé a vízzel mint közkinccsel kapcsolatos mérési adatainkat a köz számára? Mennyire támogatja a tudományos kutatás a kormányzati döntéseket – és megfordítva? Egyáltalán van-e nemzeti és regionális interdiszciplináris vízgazdálkodási kutatóintézet? Miként képezzük a szakmai utánpótlást? Integrált vízgazdálkodást hozunk-e létre, vagy önös politikai szándékok és lobbik mentén dezintegráljuk a rendszereinket? Vajon létezik-e a lokális problémák halmazából összeálló globális vízválság – és megfordítva? A válasz egy sereg nagyon is releváns további kérdésben rejlik.

TÉNYLEG GLOBÁLIS VÍZVÁLSÁG LESZ?

Nem válság-e az már most is, ha globálisan naponta hatezer gyerek hal meg vízzel kapcsolatos betegségekben? Hogy évente 6–8 millió embertársunk hal meg vízzel kapcsolatos katasztrófákban és betegségekben? Hogy a szubszaharai afrikai betegségek 90 százaléka vízeredetű és a rossz vízminőség eredménye? Hogy a szubszaharai kórházak betegeinek fele a víz, illetve az egészséges víz hiánya miatt van ott? Hogy harminc év alatt az egy főre jutó víz mennyisége drámaian lepadt? Hogy harmincöt év múlva több, mint kilencmilliárd ember lesz a Földön, akiknek víz kell, csatornázás és szennyvízkezelés? Hogy ma több embertársunknak nincs hozzáférése a minimális szanitációhoz, mint tizennyolc éve, az ENSZ Millenniumi Fejlesztési Céljainak (Millennium Development Goals, MDG) megfogalmazásakor? Hogy ez összesen 2,6 milliárd ember? Hogy a világ szennyvizeinek 85 százaléka tisztítás nélkül kerül a befogadóba, már ma is mérhető genetikai változásokat okozva a mikrofaunában? Hogy az elmúlt harminc évben az édesvízi élőlények száma megfeleződött?

Lehetne, és kell is folytatni a kérdések sorát, mert ezek az emberiség jövőjét jelentik (*UNESCO 2018*). Az ENSZ tizenhét Fenntartható Fejlődési Célja (Sustainable Development Goals, SDG-k) az ENSZ Közgyűlése által államfői szinten elfogadott vízió, amely egy keretrendszerben foglalja össze az emberiség számára 2030-ra elérendő célokat a fenntarthatóság érdekében, tehát annak érdekében, hogy elkerüljük rendszereink irreverzibilis változásait.

2015-ben az SDG-k közül a két legfontosabb a szegénység és az éhínség felszámolása volt 2030-ig, pontosabban egy alacsony szintű korlát alá szorításuk. Ez a két fő cél hihetetlenül ambiciózus volt, ugyanakkor – a világ-gazdaság évezred eleji optimista állapotát és a reziliens gazdaság akkori meglétét, ugyanakkor elfogadhatatlanul aszimmetrikus megoszlását tekintve – nem tűnt elérhetőnek. Ma már tudjuk, hogy a fenntartható fejlődési célok 2030-ra nem valósulnak meg. Mindenesetre a víz az, ami összeköti a maradék tizenhat célt, mert ha a vízgazdálkodást (SDG-6) kivesszük az SDG-rendszerből, akkor az menthetetlenül összeomlik. Ezért lett a fenntartható vízgazdálkodás századunk egyik legnagyobb, ha nem a legnagyobb kihívása.

A MÁSODIK FŐ MEGHAJTÓ: A KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS HATÁSA A HIDROLÓGIAI CIKLUSRA

A klímaváltozás hidrológiai ciklusra gyakorolt fő hatása nagy valószínűséggel az lesz, hogy a víz globális körforgása felgyorsul (*Szöllősi-Nagy 2018a*). Ennek számos súlyos következménye várható, nevezetesen egységnyi idő alatt több szélsőséges hidrológiai esemény következik majd be. Voltaképpen mi is történik?

Elég egyszerűen demonstrálható, hogy a víz körforgása a globális felmelegedés hatására felgyorsul – rögtön hozzátéve, hogy a következőkben leírt verbális modell a primitív-ségig leegyszerűsített modell, hiszen nem veszi figyelembe a klímarendszer számos komplexitását, a belső visszacsatolásokat, a nemlinearitást és a rendszer kaotikus, valamint véletlenszerű viselkedését. Tehát a Földet érő, majd onnan kifelé irányuló radiáció egy része – amely korábban voltaképpen az űrbe távozott – az üvegházhatás eredményeként „visszapattan” az atmoszférába, aminek következtében nő a légkör átlaghőmérséklete. Ez már kimért és igazolt jelenség, nem spekuláció (*Milly és társai 2008*). A megnövekedett hőmérséklet hatására megnő az evapotranszpiráció (a párolgás a szabad talaj- és vízfelszínekről és a növényzetről), aminek következtében megnő a felhőképződés valószínűsége. Több felhőből több csapadék keletkezhet, aminek hatására egységnyi idő alatt megnövekszik a lefolyás. A megnövekedett lefolyásból tovább nő a párolgás – és így tovább, tehát a víz körforgása várhatóan felgyorsul. Ha ez így van, akkor egységnyi idő alatt több szélsőséges hidrológiai esemény fordul elő. Tehát csakugyan megnő az árvizek gyakorisága és mértéke. A folytonossági feltételnek azonban minden körülmények között fenn kell állnia – ma éppen annyi édesvíz van a Földön, mint a holocén klímaoptimum idején –, ami csak úgy történhet meg, ha az aszályok időtartama és kiterjedése is növekszik.

Újfont hangsúlyozni kell azonban, hogy az atmoszferikus és hidrológiai folyamatok ennél a primitív modellnél lényegesen bonyolultabbak a jelzett seregnyi visszacsatolás,

erős nemlinearitás, káosz és sztochaszticitás miatt – éppen ez az oka annak, hogy a sok nagy léptékű szimulációs klímamodell számos esetben némileg eltérő eredményekre vezet(het), bár a főbb tendenciák azonosításában nincs kontrapozíció. A csapadékeloszlás idő- és térbeli változásával a felszín alatti vizek utánpótlódása is jelentős mértékben változhat, tehát a klímaingadozás és -változás az egész hidrológiai ciklusra kihat.

Megnő tehát az árvizek gyakorisága és mértéke. Erre az utóbbi időben szomorú példákat láttunk a németországi Rajna-vidék-Pfalz térségében az Ahr folyó soha nem tapasztalt 2021. nyári katasztrofális árvizeitől a Rinyapatak korábban nem észlelt villámárvizéig és a 2024. őszi barcelonai pusztító Dana villámárvizéig.

Mára mindhárom elem – vagyis az árvizek, illetve az aszályok gyakoriságának növekedése és mértéke, ugyanakkor a konstans vízmennyiség – experimentális evidencia. Ezt szintén tapasztalhattuk az utóbbi időkben. A klímaváltozás hatása szuperponálódik az antropogén hatásokra, bár részben maga is antropogén eredetű, azaz várhatóan tovább növeli a hidrológiai események bizonytalanságát, ezáltal a vízgazdálkodás kockázati tényezőit is. Az elkövetkező harminc év közel 30 százalékos globális népességnövekedése, vagyis a több, mint kilencmilliárdos emberiség várhatóan nagyságrendekkel nagyobb változást okoz majd a hidrológiai ciklusban és a vízzel való gazdálkodásban, mint az ugyanezen időszak alatt várható klímaváltozás. Vörösmarty és társai húsz évvel ezelőtti globális szimulációs vizsgálataik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a matematikai statisztika variációs tényezőjével mért változás 2050-re a globális hidrológiai ciklus működésében a két fő tényező hatásának olyan megoszlását mutatja, amely szerint a várható változás nagyjából 80 százaléka a népességváltozás, míg 20 százaléka a klímaváltozás hatásából adódik – azzal a szcenárió-alapfeltevéssel élve, hogy a népességváltozás az ENSZ előrejelzéseit követi, míg a szén-dioxid-kibocsátás kétszeresére nő (*Vörösmarty és társai 2000*). Ezt az állítást az elmúlt húsz év eddigi történései igazolni látszanak.

A víz a klímaváltozás hatásainak elsődleges közege – akár a termikus expanzió következtében várható tengervízszint-emelkedésről, akár a hidrológiai ciklus szárazföldi részéről legyen szó, ideértve a gyorsuló ütemben olvadó gleccserek és a permafroszt szerepét is. Sajnálatos módon azonban éppen a hidrológiai ciklus – a klímarendszer talán legérzékenyebb és legkevésbé értett része – kapja a legkisebb figyelmet a klímaváltozással kapcsolatos politikai vitákban és a kutatásban egyaránt. Az emberiség túlélése szempontjából központi, szó szerint létkérdés megoldásának, valamint a víz általi és a vízzel való gazdálkodáson keresztüli adaptációnak a fontosságát nem lehet eléggé hangsúlyozni.

A több, mint kilencmilliárdos emberiség a közeljövőben tehát jelentős változást okoz majd a hidrológiai ciklusban és a vízzel való gazdálkodásban. Sokan ezért tartják fontosabbnak az adaptációs stratégiák kidolgozását a túlpolitizált, egyesek szerint barokkosan bonyolult diplomáciai mitigációs manővereknél. A megoldás is antropogén: az emberiség kezében van. Ezért kritikus

fontosságú a Párizsi Klímamegállapodás (*UNFCC 2015*) betartása. Ha az egyik legnagyobb üvegházgáz-kibocsátó állam kiszáll belőle, ennek következményeit a világ többi része nem tudja kompenzálni, és egy újabb lépést teszünk rendszereink összeomlása felé – kényszerből és mások immoralitása miatt, mert a hidrológiai ciklus sem ismer politikai határokat.

A klímaváltozással kapcsolatos kormányközi tárgyalások, mint például az említett párizsi klímacsúcs és a COP-sorozat (*Conference of the Parties*: a részes országok éves kormányközi konferenciasorozata), nem zajlanak gyorsan. Összetett és bonyolult folyamatról van szó, amelyben közel kétszáz ENSZ-tagország esetenként markánsan eltérő politikai és gazdasági érdekei között kell megtalálni a mindenki által elfogadható konszenzust. A dolog természetéből fakadóan ez időbe telik. Sok időbe. Valószínűleg sokan vannak, akik kudarcnak minősítik a klímacsúcsot – különösen azután, hogy az Egyesült Államok 2017 nyarán bejelentette, majd a második Trump-elnökséggel ismét belengette, hogy kiszáll az egyezményből. Vannak, akik sikeresnek minősítik a klímaegyezményt, vannak csalódottak, és vannak elégedettek is. Félő, hogy tudomásul kell vennünk: a világ mai állapota és feltételei mellett ennyit lehetett elérni. Ugyanakkor tovább kell menni a megkezdett úton – nincs más észszerű alternatíva.

A JÖVŐ NEM OLYAN LESZ, MINT A MÚLT

A szélsőségek előfordulási valószínűségének növekedését eddigi módszereinkkel már nem tudjuk értelmezni. Klaszikus hidrológiai statisztikai módszereinkkel, a minta homogenitásának, függetlenségének és azonos eloszlásának feltételezésével – vagyis a stacionaritás hipotézisével – nem tudjuk megmagyarázni, vajon mi az oka annak, hogy a százéves, azaz százévenként statisztikailag egyszer (bármikor) előforduló árvíz újabban miért jelentkezik szinte húszévenként.

A mértékadó árvízszinteket egyáltalán miként tudjuk értelmezni ebben a helyzetben, és hogyan lehet használható tervezési módszereket adni a gyakorló mérnökök kezébe? Miként tudjuk a nemstacionárius hidrológiai jelenségekhez igazítani az eszközeinket – és nem megfordítva, az adatok mesterséges egyöntetűvé tételével, mint sokáig tettük, mert a kiugró adatokat hibának tekintettük. (Ebbe a hibába a 20. század eleji fizika is beleesett, mígnem rájött, hogy az elmélet rossz, nem az adat.)

A jövő nem olyan lesz, mint a múlt – vagyis a stacionaritás feltételezését fel kell adnunk, és más módszer után kell néznünk. Módszerünk hibás és javítandó, és ennek nem a hidrológiai körfolyamat különös viselkedése az oka. Nem vettük észre a változást. Nem vettük észre, hogy a stacionaritás feltételezése többé már nem helytálló (*Milly és társai 2008*). A mérnöki méretezéshez szükséges, a méretek megállapítását szolgáló, vagyis mértékadó helyzeteket mégis a változatlanúság feltételezésével becsüljük világszerte mind a mai napig – úgy, ahogyan a nemzeti szabványok a világon mindenütt előírják. Még akkor is, ha azzal áztatjuk magunkat, hogy százezer éves adatsorokat generálunk Monte Carlo-módszerrel, tehát igen hosszú periódust fedünk le – ami igaz is, csak éppen olyan adatsort generáltunk, amelynek statisztikai paraméterei definíciószerűen ugyanazok (ugyanazoknak kell lenniük), mint az észlelt idősoroké, mert

ha nem, akkor sérül az anyagmegmaradás feltétele, és a Teremtőt szimuláljuk. A legjobb esetben is csak megtartottuk az észlelt idősorok információtartalmát, újat nem teremtettünk. És megmaradtunk a stacionaritás feltevésénél. Ez pedig jelentős rizikót rejt, akár az alul-, akár a felülméretezés kockázatát vonva maga után. A százéves (vagy T-éves) gyakoriságú mértékadó árvízszint többé már nem értelmezhető, hiszen – túl a Szöllősi-Nagy által közölt anekdotán (*Szöllősi-Nagy 2017*) – példák egész sora igazolja, hogy a százévenként egyszer előforduló árvíz sokkal gyakrabban fordult (fordulhatott) elő. Ebből aztán számtalan kárrendezési jogi vita és konfliktus keletkezhet műtárgyaink üzemeltetése kapcsán.

Mi az oka a változásnak? A kivédhetetlen globális változások, amelyek peremfeltételként határozzák meg lehetséges lokális cselekvéseinket – és megfordítva. Ez tehát olyan kényszer, amely globális koordinációt kíván. Kulcskérdés, hogy mérnöki műtárgyaink méretezési alapelveit hozzáigazítsuk a nemstacionárius világhoz. Ez óriási kihívás, hiszen a nemzeti tervezési szabványok alapvető átalakítását teszi szükségessé.

Míg a klímaváltozás lassú folyamat – az ipari forradalom óta kétszáz évnek kellett eltelnie ahhoz, hogy a hidrológiai ciklus antropogén okokra visszavezethető változása mérhető legyen, és kimutatható legyen a víz körforgásának felgyorsulása (intenzifikálása) következtében előálló nemstacionárius állapot –, addig az emberi tevékenység közvetlen hatása már néhány évtized alatt mérhető. A népesség növekedése következtében a század végéig drasztikusan csökkenni fog az egy főre jutó vízkészlet – ez nyilvánvalóan nem fenntartható, és súlyos konfliktusok forrása lehet nemzetközi és szubszuverén szinten egyaránt (*Wolf 2007*).

LÉTEZIK EGYÁLTALÁN MEGOLDÁS?

Igen, létezik megoldás. És az csak tőlünk függ. Persze nem lesz könnyű megtalálni a megfelelő megoldást, mert régi paradigmákat kell megváltoztatnunk. És nincsen egyetlen üdvöztető megoldás: egy megoldástartomány van, amelyen belül tudunk csak lép(eget)ni. Nem lesz könnyű az „egyenes csatorna-műtárgy-vasbeton szerkezet” klasszikus építőmérnöki paradigmából átevickélnünk a *soft engineering* területére, ahol a természetközeli megoldásokban ökoszisztéma-szolgáltatások látnak el olyan funkciókat, amelyeket eddig csak műtárgyakkal véltünk elérhetőnek.

Nyilvánvalóan több víztározás kell a víz-, élelmiszer- és energiabiztonság eléréséhez. Több tározás pedig nyilván nem érhető el a duzzasztás és a gátak helyes funkciójának megértése nélkül, legyen szó intenzívebb öntözésről, vízátervezésről, az erőművek megfelelő szintű és mennyiségű hűtővíz-szolgáltatásáról vagy vízenergiáról. Hasonló a helyzet a nemzetközi folyami hajózást illetően is. Az elmúlt évek őszi kisvízei ugyan kiugróan alacsonyak voltak, de nem szingulárisak, mert több hasonlóra számíthatunk a jövőben. Duzzasztás és gátak nélkül nem tudjuk elérni vízrendszereink fenntartható működését, akármilyen kapcsolatban a minimális tudományos ismereteket is nélkülöző politikusok álláspontja vagy a környezetvédelmi „mozgalmárok” véleménye.

Rendkívül fontos az igen érzékeny és nagyon sebezhető felszín alatti vizekkel való racionális és fenntartható gazdálkodás. Ha a különböző vízáadó rétegeket nagy mélységű kutakkal kötjük össze, mindenféle átgondolás, hidrogeológiai szakvélemény, mérés és monitoring nélkül, akkor a nem pontszerű szennyeződésekkel már teljesen elszennyeződött első vízáadó szennyeződéseit vezetjük át a lejjebb fekvő vízáadó rétegekbe, és fosztjuk meg ezáltal a jövő generációit a tiszta víztől. Több ez, mint politikai döntés egy szűk lobbis rövid távú érdekét kielégítő. Ez már etikai kérdés. Mint ahogyan az egész fenntartható vízgazdálkodás is az, amelyben központi elemnek kell lennie az adaptív vízgazdálkodásnak és a rezilienciára törekvésnek.

Mostanra minden gondolkodó fő számára evidenciává vált, hogy a 21. század vagy a tudás társadalma lesz, vagy nem lesz 21. század. Ennek a felismerésnek az egyik gyakorlati hajtóereje valószínűleg az, hogy az 1990-es évek közepe táján voltaképpen ledőlt a digitális korlát, és az élet szinte minden területén beléptünk a digitális korbba. Meziosztint szinten minden kiszámítható – mindez csak gépidő kérdése. És persze tudás kérdése. Így van ez a vízgazdálkodásban is. Jól működő digitális modellek serege (Vörösmarty és társai 2018) áll a hidrológus, a gyakorlati vízmérnök és a stratégiai vízügyi tervező rendelkezésére különböző szinteken: a lokálistól a regionálisan át a globálisig. Példa erre lokális szinten a szennyvíztisztító telepek irányítástechnikája a szenzoroktól a szabályozó elemekig, a regionális vízellátó rendszerek távirányítással történő optimális folyamatszabályozásától (osztott intelligenciájú folyamattírányító rendszerekkel) a globális hidrológiai körfolyamat biogeokémiai fluxusainak számításáig térinformatikai rendszerben, összekapcsolva az atmoszferikus és a szárazföldi részek elemeit. Ezekre korábban soha nem volt lehetőség – részint a számítási korlátok, részint a megfelelő és elégséges mennyiségű és minőségű adat hiánya miatt. Az utóbbit illetően is hihetetlen fejlődés tanúi lehettünk az elmúlt negyed évszázadban. A műholdak és a távérzékelési technikák ma már naponta egymilliárd gigabájt hidrológiailag releváns adatot továbbítanak a Földre terahertz sebességgel. Ez elég nagy szám: egy egyes után tizenhatal nulla. Jó sok adat naponta.

De hogyan dolgozzuk fel ezt az elképesztő mennyiségű adatot real-time, és hogyan kapcsoljuk össze a különböző szintű modelleket, amelyek kölcsönösen peremfeltételei egymásnak? Ráadásul egy sereg bizonytalanságot rejtenek magukban, így a laplace-i determinizmus csődöt mond, mert a hidrológiai ciklus nem egy 3D-s vízgép, amelynek működése kiszámítható a klasszikus determinisztikus hidrodinamika eszköztárával és rutin numerikus módszerekkel. A hidrológiai folyamatok – és a mátrix, amelyben történnek – heterogenitásából fakadó véletlenszerűsége és a léptékváltás fraktálménészet kizárja ezt az utat. Hogyan segítheti mégis a sok adat az operatív vízgazdálkodást? Miként lehet ebből az óriási napi adattömegből kiszűrni a jó döntés számára szükséges mintázatot? Az adatgyűjtési technikák fejlődésével – legyen szó az *in situ* intelligens szenzorokról vagy az említett távérzékeléssel nyert adatokról – párhuzamosan fejlődtek a nagy adathalmazok gyors feldolgozására képes adatfeldolgozási módszerek. A Big Data és az alakfelismerő algoritmusok a rekurzív tanulás elvét alkalmazva hihetetlen sebességgel szűrik ki a

különböző szintű bizonytalansággal terhelt adatokban rejlő mintázatot. A tanuló algoritmusok a mesterséges intelligencia (MI) tartományába tartoznak, és bár távolinak tűnhet, mégis közeli a lehetőség a gépi tanuláson alapuló digitális vízgazdálkodás diszciplinájának és gyakorlatának megteremtésére (Szöllősi-Nagy 2018b). Az MI alkalmazásával összekapcsolhatók lesznek a vízgazdálkodási döntések különböző szintjei a lokálistól a globálisig. Ezek a különböző szintű vízgazdálkodási gépek/modellek várhatóan egyfajta sajátos IoT-rendszert (Internet of Things) képeznek majd, lehetővé téve, hogy a lokális optimumok egy globális optimum részei legyenek, eközben kölcsönösen egymás peremfeltételei is. Válaszokat kaphatunk majd például olyan kérdésekre, hogy miként kell méretezni a műtárgyainkat egy olyan világban, ahol a stacionaritás feltétele – amelyen mérnökgenerációk sora nőtt fel – első megközelítésben sem igaz. Mint jeleztük, ezekre a kérdésekre ugyanis sem a klasszikus hidrodinamika, sem a Monte Carlo-módszerű számpasszírozás nem ad jó választ. A kockázat viszont marad, szintje pedig ismeretlen.

Egy dolgot nem szabad elfelejtenünk: a vízgazdálkodás elsősorban nem műszaki kérdés, hanem társadalmi. Ha pedig társadalmi, akkor politikai, sőt ennél is több: etikai. Ha a víz társadalmi kérdés, akkor viszont döntési modelljeinkben megkerülhetetlen a társadalom lehetséges választémechanizmusainak kapcsolt modellezése, ami vélhetően legalább egy nagyságrenddel bonyolultabb feladat, mint a 2/3D lokális hidraulikai számítás, mert a társadalmi válaszokban nagyságrendekkel több a bizonytalanság (és a kockázat). Hogy ezt sikerrel oldja-e meg az ágensalapú viselkedésmódellzés (Akhbari és Grigg 2013), és beilleszthető-e ez a környezeti folyamatok fluxusainak modellezésébe, nos, ez az a nagy kérdés, amire várhatóan az MI, illetve a gépi tanulás ad majd választ. Az MI várhatóan lényegileg fogja átalakítani a humán kondíció egészét és részleteit, a tervezési szabványoktól és eljárásoktól a földmunkagépek használatán át a vízyűjtőszintű stratégiai tervezésig.

Aki ezt nem fogja fel, az intellektuálisan menthetetlen, mert nem érti a 21. századot. Tanulnunk ugyanis állandóan kell. És persze a mesterséges intelligencia mellé természetes intelligencia is szükséges a döntéshozók részéről. Ez már keményebb dió – tetszőleges politikai rezsim fennállása esetén is (Somlyódy 2018). Az adaptáció készsége tanulás nélkül nem szereshető meg egy egyre komplexebb és globálisan egyre inkább összehuzalozott világban.

Újabb adalék ez a magyar víztudomány intézményrendszere alapvető újjáépítésének szükségességéhez, a keletkezett vákuum és tudásszakadék megszüntetéséhez. Ma már világosan látszik, hogy a VITUKI megszüntetése nagy hiba volt. Hogy mi volt a valódi indíték, azt majd megválaszolja az idő. Mindenesetre sajnálatos tény, hogy az átfogó és koordinált magyar víztudományi kapacitás lényegében szétesett, illetve nagyrészt – esetenként kitűnő – egyetemi tanszéki tudományos műhelyekre atomizálódott. Víztudományunk mérhető nemzetközi hatása drasztikusan csökkent. Az egyetemi tanszékeken folyó kutatómunka nem helyettesíthette egy hosszú távú, átfogó, a kormányzati vízügyi politika és a gyakorlat igényeit prioritásnak tekintő, koherens

nemzeti vízgazdálkodási tudományos kutatási program kidolgozását és végrehajtását.

A klímaváltozás, amelynek hatásai elsősorban a hidrológiai ciklust érintik, új kihívások elé állítja a magyar hidrológiai és meteorológiai szolgálatokat. Ha valóban elfogadjuk a hidrológiai ciklus integráló szerepét – márpedig nincs más logikus választásunk –, akkor annak bármely helyen való szétválasztása önkényes, mert sérti az integritás elvét. A hidrológiai ciklus atmoszferikus és szárazföldi körforgásra történő szétválasztása is ilyen. Még inkább sérti ezt az alapelvet, ha a felszíni és felszín alatti vizek mennyiségi és minőségi adatait intézményi szinten is elkülönítve kezeljük, márpedig most ezt tesszük. Alapkérdés az adatok integrációja és az adatokhoz való nyílt hozzáférés. Azt is tudnunk kell, hogy a vízzel kapcsolatos intézmények kormányzati szintű integrálása nélkül nincs és nem lesz hatékony és fenntartható vízgazdálkodás a honban.

EPILÓGUS

A VITUKI Európa egyik legjobb vízgazdálkodási kutatóintézete – volt. Megszüntetése, de Boulay gróffal szólva, több volt, mint bűn: hiba volt.

Wittgenstein szerint a világ mindaz, aminek az esete fennáll (URL2) – a hazai vízgazdálkodásban már csak egy új, a kormányzat szakpolitikai döntéseit segítő, integrált vízgazdálkodási kutatóintézet hiányzik ahhoz, hogy a hazai, vízzel foglalkozó társadalom (is) része lehessen a tudástársadalom nemzetközi világának.

IRODALOMJEGYZÉK

Akhbari, M., Grigg, N.S. (2013). A Framework for an Agent-Based Model to Manage Water Resources Conflicts. *Water Resource Management*, Vol. 27. No. 11. pp. 4039-4052. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0394-0>

Kőrösi Cs. (2018). Sorsfordító a fejlődésben. 1. rész: Válaszút előtt a világ. *Hidrológiai Közöny*, Vol. 98. No. 4. pp. 4-8.

Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P., Stouffer, R.J. (2008). Stationarity is Dead: Whither Water Management? *Science*, Vol. 319. No. 5863. pp. 573-574. <https://doi.org/10.1126/science.1151915>

Shiklomanov, I.A., Rodda, J.C. (2003). *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*. UNESCO International Hydrology Series. Cambridge University Press, Cambridge.

Somlyódy L. (2018). Most már csak dönteni kéne a legfelsőbb helyeken – Somlyódy László akadémikus

természetes vizeink állapotáról. Barotányi Zoltán interjúja. *Magyar Narancs*, Vol. 30. No. 39. pp. 8-10.

Szöllősi-Nagy A. (2017). Milyen (m)értéket ad a mértékadó? *Mérnök Újság*, 2017. december. p. 13.

Szöllősi-Nagy A. (2018a). Sorsfordító a fejlődésben. 2. rész: Válaszút előtt a világ vízgazdálkodása. *Hidrológiai Közöny*, Vol. 98. No. 4. pp. 9-16.

Szöllősi-Nagy A. (2018b). A digitális vízgazdálkodásról. *Mérnök Újság*, 2018. július. p. 11.

UNESCO (2018). *UN World Water Development Report*. Paris.

<https://www.unesco.org/en/wwap/wwdr/2018>

UNFCCC (2015). *The Paris Agreement*. United Nations, New York. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J., Richard B. Lamm, R.B. (2000). *Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth*, Science, Vol. 289, Issue 5477, pp. 284-288.

Vörösmarty, C.J., Rodríguez Osuna, V., Cak, A.D., Green, P., Tessler, Z., Corsi, F., Bhaduri, A., Bunn, S., Gastelumendi, J., Harrison, I., Lawford, R., Marcotullio, P.J., McClain, M., McDonald, R., McIntyre, P., Palmer, M., Roberts, R., Szöllősi-Nagy, A., Uhlenbrook, S. (2018). Ecosystem-based water security and the sustainable development goals. *Ecohydrology & Hydrobiology*, Vol. 18. No. 4. pp. 317-333.

<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.07.004>

Waters, C.N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A.D., Poirier, C., Galuszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E.C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Richter, D. deB., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Waprich, M., Williams, M., Zhisheng, A., Grinevald, J., Odada, E., Oreskes, N., Wolfe, A.P. (2016). The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, Vol. 351. No. 6269. aad2622.

<https://doi.org/10.1126/science.aad2622>

Wolf, A.T. (2007). Shared Waters: Conflict and Cooperation. *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 32. No. 1. pp. 241-269. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.041006.101434>

URL1. <http://www.worldometers.info/world-population>

URL2. <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Gondolattar-kristo-nagy-istvan-gondolattar-1/ezredveg-68B1/wittgenstein-ludwig-18891951-osztrak-filozofus-83A9/>

A SZERZŐ



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

Parti szűrésű rendszerek kezdeti értékelésének módszerei

Nyíri Gábor¹, Szűcs Péter²

¹ tudományos munkatárs, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, 3515 Miskolc, Egyetemváros (e-mail: gabor.nyiri1@uni-miskolc.hu)

² egyetemi tanár, az MTA levelező tagja, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, 3515 Miskolc, Egyetemváros, (e-mail: peter.szucs@uni-miskolc.hu)

DOI: 10.59258/hk.20607



Kivonat

Hazánkban és Európában a nagy számban alkalmazott parti szűrésű rendszerek üzemeltetésében több évtizedes tapasztalattal rendelkezünk, bár még mindig vannak nyitott kérdések ezen rendszerek működésével kapcsolatban. Ezen tapasztalatok felhasználhatóak olyan országok ivóvíztermelési terveinél, amelyek a parti szűrésű rendszereket csak az utóbbi időkben kezdték el alkalmazni, illetve még csak tervezik ezen rendszerek használatát. Ilyen országok pl: India, Malajzia, illetve az afrikai országok. Ha egy potenciális parti szűrésű vízbázissal állunk szemben hasznos ismernünk, hogy az a folyó-vízáadó rendszer milyen hatékonysággal fog működni. Ehhez célszerű egy olyan értékelő rendszer kialakítása, amely egyszerű, könnyen használható és tartalmazza azon tapasztalatokat, amelyekkel például az európai országok rendelkeznek. Munkánkban a parti szűrésű rendszerekkel kapcsolatos főbb korábbi eredményeket, valamint ezen rendszerek kezdeti értékelésében nagy segítséget nyújtó eszközöket mutatjuk be, továbbá az egyik értékelési módszer véges differencia módszerrel történő összehasonlítását is elvégeztük.

Kulcsszavak

Parti szűrés, hidrogeológiai módszerek, numerikus modellezés, véges differencia módszer.

Early-stage evaluation of riverbank filtration systems

Abstract

We have decades of experience in operating the large-scale riverbank filtration (RBF) systems used in our country and in Europe, although there are still open questions regarding the operation of these systems. This experience can be used in drinking water production plans of countries that have only recently started to use RBF systems or are still planning to use these systems. Such countries include India, Malaysia, and African countries. When faced with a potential RBF water base, it is useful to know how efficiently the river-aquifer system will operate. For this, it is useful to develop an evaluation system that is simple, easy to use, and includes the experiences that, for example, European countries have. In our work, we present the main previous results related to RBF systems, as well as tools that are of great help in the early-stage evaluation of these systems, and we also compared one evaluation method with finite difference method.

Keywords

Riverbank filtration (RBF), hydrogeological investigation methods, numerical modelling, finite difference method.

BEVEZETÉS

A folyó és talajvíz kapcsolata alapvetően kétféle módon történhet: a folyó táplálja a talajvizet, vagy a folyó megcsapolja a talajvizet (Juhász 1976). Ezt a kölcsönhatást a javunkra fordíthatjuk, ha egy termelőiút segítségével az áramlás irányát úgy alakítjuk, hogy a víz a folyótól a termelőiút felé szivárogon (Tolnai 2008). Parti szűrésű rendszereknek tekintjük azokat a vízbázisokat, amelyek folyók kavicssteraszából termelnek, és utánpótlódásukat több mint 50%-ban a folyóból kapják (123/1997 Korm. rendelet). A 123/1997 Korm. rendeletben meghatározott definíció nem foglalkozik azzal, hogy a folyóból beszivárgott víz mennyi időt tölt a vízáadóban, amíg a termelőiutat eléri. Ezzel kapcsolatban korábban már felmerültek bizonyos aggályok, véleményünk szerint joggal és javaslat is látott napvilágot a definíció módosítására (Völgyesi 2014). A tartózkodási idő figyelembevétele a parti szűrésű rendszerek értékelését is módosítaná. Ezen javaslatok a hazai törvényi szabályozás változását még nem hozták el. Mindenesetre elmondható, hogy hazánk ivóvízellátása nagymértékben támaszkodik ezen típusú vízbázisokra (Nagy-Kovács és társai

2019). A történelemben először a XIX. század elején alkalmazták ezt a típusú víztermelési módszert Glasgow-ban, az Egyesült Királyságban (Ray és társai 2003). Ezen rendszerek széleskörű alkalmazására viszont Németországban került sor az 1870-es években (Hiscock és Grischek 2002). Az ipari méretű víztermelés megindulásával a XIX. és XX. század fordulóján több európai országban is előtérbe kerültek a parti szűrésű rendszerek, mint például Svájc, Franciaország, Finnország, és természetesen Magyarország is (Umar és társai 2017). Érdekes lehet, hogy vannak olyan esetek is, amikor a parti szűrésű víztermelés nem folyóhoz, hanem állóvízhez, tóhoz köthető (Hoffman és Gunkel 2009). Mivel ebben az esetben nem történik víz-áramlás az utánpótlódást biztosító víztömegben így a parti szűrésű víztermelésre jellemző folyamatok (pl. kolmatáció) máshogy zajlanak le. Tanulmányunkban a tavakból történő parti szűrésű víztermelésre a továbbiakban nem térünk ki. Az említett országokban manapság is nagy arányban történik parti szűrésű víztermelés. Svájc helyzete különösképpen is figyelemre méltó, hiszen ott az ivóvíztermelés nagyjából 80%-ban támaszkodik ezen típusú

vízbeszerzési lehetőségre (Ray 2008). Ha a látószögünket kiterjesztjük, akkor azt látjuk, hogy a világ más tájain még nem ennyire elterjedt a parti szűrés alkalmazása, mint Európában, hiszen a világ más országaiban főként a folyóvízből történő direkt vízkivételt részesítik előnyben. A folyóvizek magas szennyezettsége viszont a tisztítási folyamatokat költségessé és nehezzé teszi. India, Dél-Korea, Egyiptom, Malajzia azon országok közé tartoznak, amelyek felismerték a parti szűrés folyamatának előnyeit és kezdik kiaknázni ezen rendszerekben rejlő lehetőségeket (Shamrukh és Abdel-Wahab 2008, Ojha 2011). A partiszűrés folyamata során a felszíni víz több természetes tisztítási folyamaton megy keresztül (mechanikai szűrés, adszorpció, biológiai szűrés stb.), így költséghatékonyra teszi a kitermelt nyersvíz további tisztítását (Hiscock és Grischek 2002). Azt is jól tudjuk, hogy a parti szűrés folyamata emberi tevékenység nélkül nem zajlódik le, hiszen a víztermelés hatására kialakuló hidraulikus gradiens irányának és nagyságának megváltozása indítja el ezt a folyamatot (Nyíri és társai 2022). Ezen folyamat megfelelőségének jellemzése nem magától értetődő, hiszen az alapvető hidraulikai, biokémiai és fizikai folyamatok erősen helyspecifikusak és időben változóak (Erdélyi és társai 2025). A szakirodalom ezen vízbázisokat több aspektusból is megközelítette annak érdekében, hogy a tisztítási és hidraulikai folyamatokat jobban megértsük. A kutatások között találhatunk geofizikai-, vízkémiai-, izotópos vizsgálatokat, numerikus modellezést és próbaszivattyúzási tesztek kiértékelését is (Kármán és

társai 2014, Székely és társai 2021, Czuppon és társai 2024, Erdélyi és társai 2025). Ezen vizsgálatok különböző irányból próbálják megvizsgálni és megérteni a rendszer sajátosságait és a szűrési folyamat hatékonyságát.

A parti szűrész rendszerek hatékonyságának és alkalmazhatóságának megítélése nem könnyű feladat főként a helyi sajátosságok miatt, azonban a parti szűrész rendszereket egyre inkább alkalmazni kívánó országok igénye növekedett egy ilyen értékelési rendszer iránt.

PARTI SZŰRÉSŰ RENDSZEREK ÉRTÉKELÉSE A SZAKIRODALOMBAN

A parti szűrész rendszerek értékelése többféle szempont szerint történhet. Ezen rendszerek esetében tudnunk kell, hogy mennyi vizet tudunk kitermelni, valamint azt, hogy a kitermelt nyers víz milyen minőségű lesz. A mennyiség ismerete azért fontos, hogy a területen felmerülő vízigényeket ki tudjuk-e elégíteni, a minőség pedig alapvetően befolyásolja azt, hogy a nyersvíz kitermelése után szükséges-e további vízkezelési technológia alkalmazása. Ezen időben változó paraméterek ismerete a már meglévő rendszereknél is fontos támpont, hiszen így tudjuk fenntartható módon biztosítani az ivóvizet a lakosság, vagy az ipar számára. A szakirodalomban alapvetően a vízkémiai-, hidraulikai modellezési-, próbaszivattyúzási vizsgálatokat, valamint ezek kombinációját találhatjuk. Ezen nemzetközi és hazai kutatási eredményekből mutat egy kis ízelítőt az 1. táblázat, a 2. táblázat és a 3. táblázat.

1. táblázat. Néhány parti szűréssel kapcsolatos korábbi vízkémiai vizsgálat és azok főbb megállapításai
Table 1. Some previous water chemistry studies related to RBF systems, and their main findings

Szerző	Célkitűzés	Fő megállapítás
Doussan és társai (1997)	A Szajna partján lévő parti szűrész rendszer vízkémiai modellezése a szűrési folyamat mentén.	A szűrés során végbemenő folyamatokat az oxigén, a nitrát és a szulfát koncentrációk változása jelzi. Az alacsony szivárgási sebesség a szerves szén nagy mennyiségű bevitelével együtt kedvező feltételeket teremt a redukációs folyamatok végbemeneteléhez a vízáradóban. Ezzel együtt a folyómederben ammónium halmozódik fel.
Holzbecher (2006)	A parti szűrés természetes lebontó folyamatainak számszerűsítése a FEMLAB segítségével.	Az alkalmazott szoftver használható a kolmatált réteg, a galériák és termelőkutak hatásainak figyelembevételére.
Abdel-Fattah és társai (2008)	A szennyeződésterjedést gátló tényezők meghatározása egy Egyiptomi mintaterületen.	Az alga, baktérium és egyéb lebegőszennyezőanyag esetében az eltávolítási hatások rendkívül jók. A tisztítási hatásokot befolyásoló fő paraméterek közül az elérési idő, valamint a termelőkutak mélysége volt meghatározó.
De Vet és társai (2010)	A folyóból származó és a szűrt víz kémiai tulajdonságainak meghatározása Hollandiában.	A parti szűrész víz hozzávetőlegesen azonos mennyiségű mangánt tartalmaz a teljes nyersvízben mérhető koncentrációhoz viszonyítva. A parti szűrt víz kedvezőbb alternatívát kínál az ivóvíz előállításához, mint a közvetlenül a folyóból kitermelt víz.
Gorski (2011)	A parti szűrész víz minőségének vizsgálata egy lengyelországi mintaterületen	A parti szűrész víz plankton- és baktériumkoncentrációja jelentősen lecsökkent. A lassú csökkenés a TOC és az oxidálóképesség függvénye.
Derx és társai (2013)	Egy feltételezett folyó-vízáradó rendszer kölcsönhatásainak vizsgálata történt. A rendszerben a különböző vírus koncentrációkat vizsgálták a folyó vízállásának függvényében.	A permanens áramlással szemben a folyó vízszintjének fluktuációja a vizsgált vírusokat messzebbre és nagyobb koncentrációban szállítja a vízáradóban. A tanulmány azt javasolja, hogy a folyó vízszintjének változását és annak negatív hatását vegyék figyelembe a termelőkút folyótól való biztonságos távolságának meghatározásánál.

<i>Bradley és társai (2014)</i>	A parti szűrés hatékonyságának meghatározása gyógyszermaradványok eltávolítása kapcsán egy szennyvízzel terhelt folyó mellett. Helyszín: USA, Iowa állam.	A parti szűrés alkalmas a gyógyszermaradványok felszíni vízből történő eltávolítására, azonban meg kell jegyezni, hogy a szennyvízzel terhelt felszíni vizek a felszín alatti vizek elszennyeződését okozhatják a felszíni víztől számított több 10 méteres távolságban is.
<i>Kármán és társai (2014)</i>	Elérési idő meghatározása oxigén izotóp vizsgálatok felhasználásával magyarországi mintaterületen.	A tanulmányban alkalmazott modell széles alkalmazási tartománnyal rendelkezik és különösen alkalmazható a parti szűrős rendszerekben. A tanulmány azt mutatja, hogy a diszperziós modell alkalmazható változó hidrodinamikai körülmények között azon időtartamok kiválasztásával, amelyek alatt a folyó vízszintje állandó marad.
<i>Salamon és Goda (2019)</i>	Kombinált rendszer (parti szűrés + fordított ozmózis) vizsgálata. A rövid tartózkodási idő hatásának vizsgálata a fordított ozmózis optimális végbe- meneteléhez szükséges feltételekre.	Megállapították, hogy a parti szűrt víz megfelel a gyártó által meghatározott minőségi előírásoknak és a fordított ozmózis membrán áteresztőképessége hosszú ideig, akár 50–100 napig is fenntartható. Ilyen kombinált rendszer esetében fontos az, hogy a folyópart és a termelőktől között kis távolság legyen. Ez segít fenntartani az oxidatív körülményeket és minimalizálni a talajvíz áramlásából származó vas koncentrációt.
<i>Czuppon és társai (2024)</i>	Környezeti izotópok felhasználása a felszíni víz és a felszín alatti víz kapcsolatának meghatározására két Duna menti mintaterületen.	A környezeti izotópok vizsgálatával és a konvolúciós módszer alkalmazásával sikerült meghatározni az elérési idők mediánját, valamint a keveredési arányt a mintaterületeken. Az elérési idő eloszlások a parti szűrős víz vízadóba történő bekerülése és kitermelése között eltelt idő függvényében változnak.
<i>Erdélyi és társai (2025)</i>	Numerikus modellezés és vízkémiai vizsgálatok összekapcsolása a parti szűrős rendszer tisztítási hatásfokának meghatározásához, magyarországi mintaterületen.	A javasolt, numerikus transzportmodellezéssel számított tartózkodási idő eloszlásokon alapuló módszer pontosabb becsléseket ad a tisztítási hatásfokra, mint az általánosan használt módszerek. A folyóvíz és a parti szűrős kutak ugyanazon napi eredményeinek összehasonlítása vagy a fix időintervallumú eltolódások figyelmen kívül hagyják a víz-tartó réteg időben változó hidrogeológiai folyamatait, és a tényleges tisztítási hatásfok alul- vagy túlbecsléséhez vezethetnek.

2. táblázat. Néhány parti szűrőssel kapcsolatos korábbi modellezési vizsgálat és azok főbb megállapításai
Table 2. Some previous modeling studies related to RBF systems, and their findings

Szerző	Célkitűzés	Fő megállapítás
<i>Chen (2001)</i>	Vízáramlás nyomon követése szezonális vízkitermelés mellett hipotetikus rendszerekben.	A folyóvíz vízadóba történő szivárgása lassú folyamat és a vizsgált esetekben csak 90 nap alatt érik el a vízkivételi műveket. Olyan rétegekben, ahol a természetes hidraulikus gradiens iránya a folyó felé mutat, a víztermelés leállásakor a már vízadóba bejutott víz visszakerülhet a folyóba.
<i>Lautz és Siegel (2006)</i>	A felszíni és felszín alatti víz keveredésének meghatározása MODFLOW és MT3D segítségével. Helyszín: USA, Wyoming	A tanulmány fő eredménye, hogy a numerikus szimulációk és a hagyományos nyomjelző tesztek segítségével nyomon tudják követni a szennyezőanyagok bomlási sebességét a hiporeikus zónában.
<i>Ray és Prommer (2006)</i>	A kút kialakítás és a kitermelt hozam szennyezőanyag transzportra gyakorolt hatásának vizsgálata az USA-ban.	A kút kialakításától és a szivattyúzás mértékétől függően a nagy vízvezetőképességgel rendelkező területeken a szennyezőanyagok könnyen szétterülhetnek, amelyek végül a kútvízben jelennek meg.
<i>Constantz (2008)</i>	Hőmérséklet hatásának vizsgálata a parti szűrés kapacitására inverz modellezési megközelítéssel.	A hőmérséklet változását a víztermelő mű folyótól való távolságával hozták összefüggésbe. A felszín alatti víz szintjének és a folyó vízszintjének nem volt hatása a hőmérséklet változására.
<i>Shankar és társai (2009)</i>	Felszín alatti víz és parti szűrt víz arányának meghatározása véges elemes módszerrel egy németországi mintaterületen.	A felszín alatti víz és parti szűrős víz aránya a folyó vízállásának, a termelt hozamnak, a folyó-termelőktől távolságnak, valamint a vízadó tulajdonságainak függvénye. A vizsgálat alapján a kitermelt vízmennyiség 75%-a a folyóból származik.

<i>Mustafa és társai (2014)</i>	Analitikus modellezési módszerek áttekintése.	A legtöbb analitikai módszer inkább a folyóból víz-adóba történő áramlás mértékével foglalkozik, mintsem a szennyezőanyag transzporttal. A Laplace és Fourier módszerek népszerűek a parti szűrészű rendszerek analitikus modellezésével foglalkozó szakemberek körében.
<i>Sandhu és társai (2011)</i>	A parti szűrés hatékonyságának felmérése a Gangesz partján.	Az eredmények alapján a parti szűrés hatékony víztisztítási technika a folyóvíz szennyeződéseinek, különösen a coliform baktériumoknak az eltávolítására. A területen található parti szűrészű kutak fenntartható módon biztosítják az ivóvizet. A folyó és az alatta lévő vízádó közötti tökéletes hidraulikai összeköttetés a jövőben is fenntartható vízellátásra utal.
<i>Lee és társai (2012)</i>	A csápos kút kialakításának kitermelhető hozamra gyakorolt hatásának vizsgálata egy koreai mintaterületen.	A vízszintes csápokba belépő víz áramlási sebessége nem egyenletes a csáp mentén, hanem a központi akná-tól való távolsággal növekszik. Így a csápos kútnak a folyótól való távolsága befolyásolja a szűrt folyóvíz mennyiségét, ami a csáposkút elhelyezkedésének és szerkezeti kiképzésének a jelentőségét mutatja.
<i>Völgyesi (2014)</i>	A mederkapcsolati hatások, a tartózkodási idő jelentőségének ismertetése.	A parti szűrészű víztermelés lehetőségei Magyarországon sokkal kisebbek, mint ahogy azt hivatalosan nyilvántartják. Több javaslatot tesz a szerző a hazai parti szűrészű rendszerek minőségi és mennyiségi jellemzőinek jobb megismerésére.
<i>Székely és társai (2021)</i>	Csápos kutak hidraulikai modellezése numerikus eljárások segítségével.	A MODFLOW MNW2 modulját más fél-analitikai módszerek mellett sikeresen alkalmazták a szerzők csápos kutak hidraulikai modellezésére.
<i>Yadav és társai (2024)</i>	Parti szűrészű rendszerek korai tervezésére szolgáló program kifejlesztése.	A tanulmány egy olyan eszközt (RBFsim) mutat be, amely könnyen alkalmazható parti szűrészű rendszerek korai értékelésére (hely kiválasztás, kút helyzetének meghatározása, üzemeltetés).

3. táblázat. Néhány jelentősebb szakirodalom, ahol próbászivattyúzási vizsgálatokat végeztek
 Table 3. Some previous studies related to RBF systems where pumping tests were used

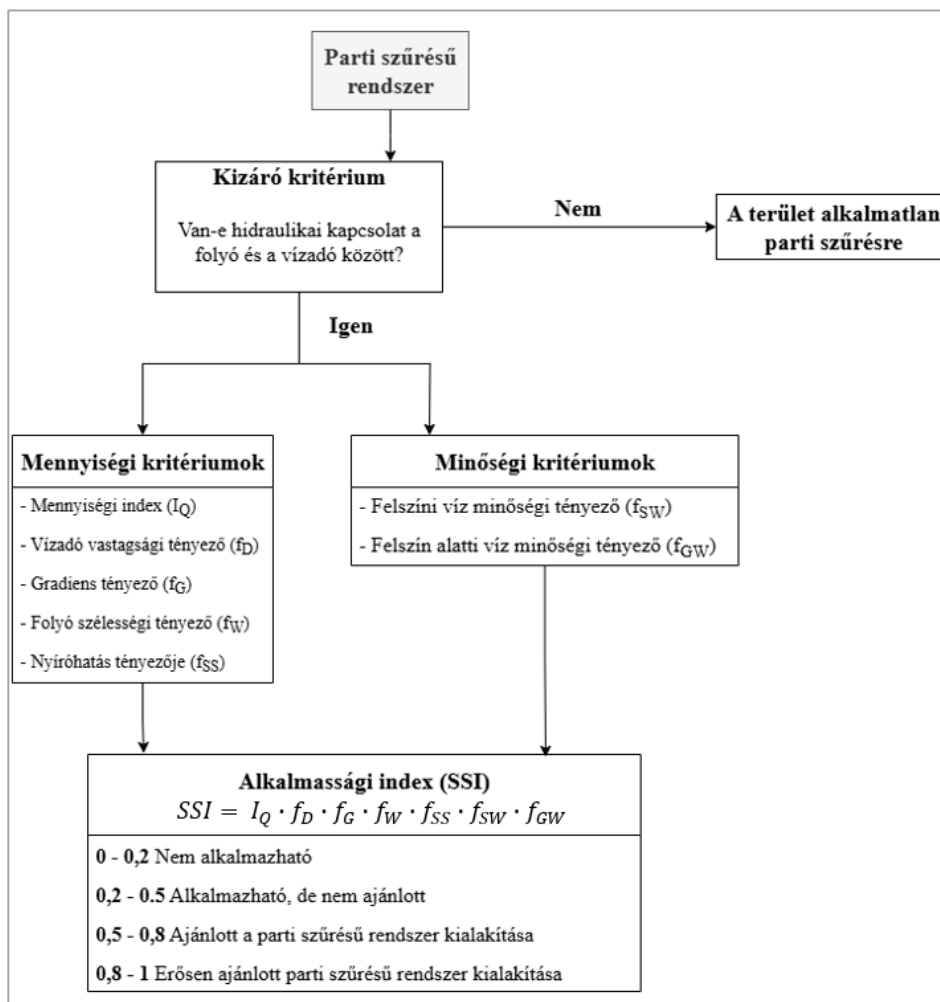
Szerző	Célkitűzés	Fő megállapítás
<i>Caldwell (2006)</i>	A hőmérséklet néhány hidraulikai tulajdonságra gyakorolt hatásának vizsgálata.	A parti szűrészű rendszer hozamát nagymértékben befolyásolja a vízádó transzmisszivitása, a parti szűréssel érintett folyószakasz hossza, valamint a vízádó és a folyó hőmérséklete. Erős összefüggés van a fajlagos kapacitás és a parti szűrésben részt vevő víz hőmérséklete között.
<i>Hubbs (2006)</i>	A kolmatáció és a hőmérséklet szivárgási tényezőre és fajlagos kapacitásra gyakorolt hatásának vizsgálata.	A szivárgási tényező és a fajlagos kapacitás változását a kolmatáció és a folyó és a vízádó között lejátszódó hőmérsékleti változás befolyásolja. Magasabb hőmérsékletű víz magasabb fajlagos kapacitást von maga után.
<i>Schubert (2006)</i>	A kolmatáció dinamikájának és hatásainak meghatározása a Rajna mentén.	A kolmatációs folyamatot általában a lefolyás dinamikája, a folyóvíz minősége és a kutak elhelyezkedése szabályozza. Az eltömődési folyamatok befolyásolják a parti szűrés kapacitását.
<i>Shamsuddin és társai (2014)</i>	A numerikus modellezés és a próbászivattyúzás szerepének meghatározása a fajlagos hozam, valamint az elérési idő meghatározásában.	A folyótól való távolságnak nagyobb hatása van az elérési időre, mint a kitermelt hozamnak.
<i>Ghazali és társai (2015)</i>	Parti szűrészű víz ivóvízként történő felhasználhatóságának vizsgálata Malajzia Selangor államában.	Az eredmények egyértelműen azt mutatják, hogy a parti szűrés képes csökkenteni a zavarosságot. A vizsgált területen lévő vízádóból megfelelő minőségű és elegendő mennyiségű ivóvizet lehet előállítani Selangorban.

A PARTI SZŰRÉSŰ RENDSZEREK KIALAKÍTHATÓSÁGÁNAK FELTÉTELEI

A korábban említett szakirodalmak vizsgálatai alapján már kitűnhetnek olyan fontos megállapítások, amelyeket több szerző is megerősít és az üzemeltetésben is használható információt adnak. Ilyen általános megállapítás például, hogy a parti szűrés a lebegőanyag, a biológiai szervezetek eltávolításában rendkívül jó hatásokkal dolgozik, vagy, hogy a kolmatációs folyamat csökkenti ezen rendszerek kapacitását stb. Ahogy korábban említettük, hazánk vízművei nagy tapasztalattal rendelkeznek az ilyen rendszerek üzemeltetésében, így a hazai parti szűrésű rendszerek viszonylag jól ismertek és az alap értékelésükre nem feltétlen van szükség. A világ többi részén viszont ezen rendszerek kiaknázása csak az utóbbi időkben indult meg, így az Európában szerzett tapasztalatokat az ottani szakemberek jól tudják kamatoztatni. Egy folyó partján létesítendő új parti szűrésű rendszer kialakítása a hidraulikai és a vízföldtani értékeléssel kezdődik, amely-

nek fő eldöntendő kérdése az, hogy az adott terület alkalmas-e parti szűrésre, avagy sem. Egy a közelmúltban napvilágot látott tanulmány (Hoang és társai 2022) erre az értékelési feladatra jó alternatívát nyújt, amelyet az alábbiakban röviden ismertetünk.

A parti szűrés folyamatához elengedhetetlen az, hogy a hidraulikus gradiens irányát úgy alakítsuk, hogy az áramlás a folyó felől a termelőkút irányába történjen. Ez alapvetően viszont nem elégséges, csak abban az esetben, ha a folyó és a vízáadó réteg között van hidraulikai kapcsolat. Az említett értékelési módszer első lépése tehát, hogy megállapítsuk, hogy van-e hidraulikai kapcsolat a folyó és a vízáadó réteg között. Ha ez nem áll fenn, akkor az adott terület nem alkalmas parti szűrésű rendszer kiépítésére. Ha ez a kapcsolat rendelkezésre áll, akkor a továbbiakban a területnek mennyiségi és minőségi kritériumoknak kell megfelelnie (1. ábra). Az 1. ábrán szereplő minőségi és mennyiségi kritériumokat az alábbiakban mutatjuk be.



1. ábra. A Hoang és társai (2022) által kialakított értékelési rendszer folyamatábrája
Figure 1. Evaluation process of RBF systems made by Hoang et al (2022).

Mennyiségi kritériumok

A kitermelhető hozamot a terület hidrogeológiai adatai, valamint a folyó hidraulikai és geometriai adatai befolyásolják. A mennyiségi kritériumot a bemutatott értékelési rendszerben 5 tényező befolyásolja (Hoang és társai 2022):

- Mennyiségi index (I_Q): A vízáadó transzmisszivitásától, vastagságától, valamint szivárgási tényezőjétől függő tényező. Értéke 0-1 között változhat.
- Vízáadó vastagsági tényező (f_D): Kis vastagsággal (<10 m) jellemezhető területek korrekciójára használt tényező. Értéke 0-1 között változhat.

- Gradiens tényező (f_G): A folyó felé mutató alacsony hidraulikus gradiens érték segít abban, hogy nagyobb folyóhányadot érjünk el a víztermelés során. Minél kisebb ez a gradiens érték, annál nagyobb a gradiens tényező értéke, ami 0,8 – 1 között változhat.
- Folyó szélességi tényező (f_W): A kis folyószélesség csökkenti a folyóból beáramló víz mennyiségét és növeli a mederbe való beszivárgás mértékét és sebességét, ami növeli az eltömődés veszélyét. Minél nagyobb a folyó szélessége, annál nagyobb ez a tényező, amelynek értéke 0-1 között változhat.
- Nyíróhatás tényezője (f_{SS}): A folyó és medre között fellépő alacsony nyírófeszültség növeli a lebegőanyag, valamint a szerves anyag kiülepedésének lehetőségét a mederfenéken. Ez a nyíróhatás a folyó mélységének és esésének a függvénye. A nyíróhatás növekedésével ezen tényező nagysága nő, aminek értéke 0,8-1 között változhat.

Minőségi kritériumok

A parti szűrész rendszerek értékelése során nem csak a mennyiségi kérdések fontosak, hanem a minőségi kérdések is. Az említett értékelési rendszer a minőségi paramétereket az alábbi két tényezővel veszi figyelembe (Hoang és társai 2022):

- Felszíni víz minőségi tényező (f_{SW}): a biológiailag lebomló szerves szén és az ammónium felszíni vízben lévő nagy mértékű jelenléte a vízáadó tisztítóképeségét erősen befolyásolja, amely csökkenti a parti szűrt víz minőségét. Az említett szennyezőanyagok jelenléte tehát csökkenti ezen faktor értékét, amely 0,7-1 közötti intervallumban változhat.
- Felszín alatti víz minőségi tényező (f_{GW}): A parti szűrt víz szennyezett felszín alatti vízzel történő keveredése csökkenti a kitermelt víz minőségét. A vízáadó magas arzén, ammónium, vas, mangán, oldott szerves szén (DOC) stb. koncentrációja csökkenti ezen faktor értékét, amely 0,7-1 között változhat.

A minőségi és mennyiségi kritériumok meghatározása után a terület alkalmassági indexét meg lehet határozni az 1. egyenlet segítségével:

$$SSI = I_Q \cdot f_D \cdot f_G \cdot f_W \cdot f_{SS} \cdot f_{SW} \cdot f_{GW} \quad (1)$$

ahol SSI a terület alkalmassági index (site suitability index), a többi tag pedig a korábban említett minőségi és mennyiségi vonatkozó faktorok. A terület alkalmassági indexének kiszámítása után a vizsgált területet az alábbi kategóriákba tudjuk besorolni (1. ábra):

- alkalmatlan,
- alkalmas, de nem nagy méretű rendszerre,
- ajánlott nagy méretű rendszer kialakítása,

- erősen ajánlott a nagy méretű rendszer kialakítása (Hoang és társai 2022).

A fent említett módszer alkalmas arra, hogy azokat a vízföldtani és hidraulikai adottságokat értékeljük, amelyek számottevő beavatkozást nem tudunk tenni, vagyis az adottságokat mérjük föl. Fontos azonban a termelőkút létesítéssel és víztermeléssel járó hatásokat is, amelyekkel mi is befolyásolhatjuk a parti szűrész rendszerek működését.

RBFSIM PROGRAM ÉS ALKALMAZHATÓSÁGA

Amennyiben egy terület vizsgálata során arra az eredményre jutunk, hogy alkalmas lehet parti szűrész rendszer kialakítására, újabb kérdések vetődhetnek fel. Ilyen például, hogy

- milyen távolságba helyezzük a termelőkutat annak érdekében, hogy a folyóhányad mértékét növeljük?
- mekkora lesz az a folyószakasz, amelyre az adott kút hatással van?
- a különböző hozamok milyen depressziót okoznak a vízáadóban?
- stb.

Ezekre a kérdésekre előzetes választ tudunk adni egy egyszerű eszköz segítségével, amelyet németországi és amerikai kutatók fejlesztettek ki (Yadav és társai 2024). A parti szűrész rendszerek kezdeti értékelésénél fontos lehet az egyszerűség, a gyorsaság és a költséghatékonyság, minimális adatigény mellett. Ezen tulajdonságok jól jellemzik az RBFSim alkalmazást, amely könnyen használható alternatívát kínál a fenti kérdések eldöntésére. Az RBFSim alkalmazás egy szimulációs eszköz, amely a parti szűrész rendszerek korai értékelésénél kap szerepet. Használatával gyorsan és egyszerűen képet kaphatunk többek között a folyóhányad, az elérési idő, valamint a termelés során kialakuló depresszió mértékéről. Az eszköz analitikus elemek módszerét (AEM) használja a számításokhoz. Az alkalmazás a következő főbb koncepciókkal működik:

- a vízáadót egy 2D vízszintes sík tartomány definiálja,
- a vízáadó homogén és izotróp,
- az áramlási tér egyforma,
- a folyó a terület szélén, állandó nyomású határként helyezkedik el,
- a termelőkút egy vertikális csőkút (Yadav és társai 2024).

Az alkalmazás adatigénye minimális, így a parti szűrész rendszerek kezdeti értékelésekor jól használható. Az alkalmazás adatigényét a 4. táblázat mutatja.

4. táblázat: Az RBFsim alkalmazás adatigénye (Yadav és társai 2024)

Table 4. The data need of RBFsim application (Yadav et al 2024)

Kategória	Adat	Mértékegység
Vízadóra vonatkozó adatok	Vízadó vastagsága	m
	Effektív porozitás	[-]
	Hidraulikus gradiens	‰
	Szivárgási tényező	m/nap
Termelőkútra vonatkozó adatok	Kút azonosítója	[-]
	X és Y koordináták	m
	Termelt hozam	m ³ /nap
Folyóra vonatkozó adatok	Kolmatált réteg vastagsága	m
	Kolmatált réteg szivárgási tényezője	m/nap
	Folyó vízszintje	m

Az RBFsim alkalmazás előnye tehát, hogy minimális adatigénnyel dolgozik, gyors és megbízható eredményekkel szolgál a parti szűrésű rendszerek kezdeti értékelésénél, illetve a termelőkút víztermelése során bekövetkezett hatások vizsgálatánál. Az eszköz alkalmas továbbá olyan összefüggések meghatározására, amelyek a parti szűrésű rendszert jellemzik. Ilyen gyakorlati alkalmazások lehetnek például:

- depresszió mértékének meghatározása a kút folyótól való távolságának függvényében,
- átlagos elérési idő meghatározása a kút folyótól való távolságának függvényében,
- folyóhányad meghatározása a kút folyótól való távolságának függvényében,
- átlagos elérési idő meghatározása a termelt hozam függvényében,
- depresszió mértékének meghatározása a kolmatált réteg tulajdonságainak függvényében.

Az alkalmazásnak természetesen vannak olyan korlátai, amelyek nem teszik lehetővé, hogy komplex feladatokat el tudjunk végezni vele. Ilyen főbb alkalmazási korlátok az alábbiak:

- csak függőleges kúttal számolhatunk,
- a program nem tud több vízföldtani réteget kezelni,
- a modellezett terület 500 m x 500 m,
- csak permanens áramlást tudunk szimulálni.

Elmondható tehát, hogy az RBFsim alkalmazás az adott parti szűrésű rendszer nagyvonalú megismerésére szolgál (termelőkút folyótól való távolságának nagyságrendi meghatározása, adott hozam milyen folyószakaszt használ a parti szűrés során, nagyságrendileg mekkora depresszióra számíthatunk stb.). Részletesebb numerikus modellezést kell alkalmaznunk, ha más kúttípus (pl. csáposkút) telepítése a cél, vagy transziens folyamatokat szeretnénk vizsgálni. Az alkalmazási korlátok mellett viszont egy olyan vizsgálati lehetőséget biztosít, amely gyors és jó betekintést enged a parti szűrésű rendszerek működésébe (Yadav és társai 2024). Az alkalmazás az alábbi weboldalon található: <https://rbf-sim.streamlit.app/>. Az alkalmazás forráskódja pedig a következő weboldalról érhető el: <https://github.com/HTWDMAR/RBFsim>.

AZ RBFSIM ÉS A MODFLOW SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

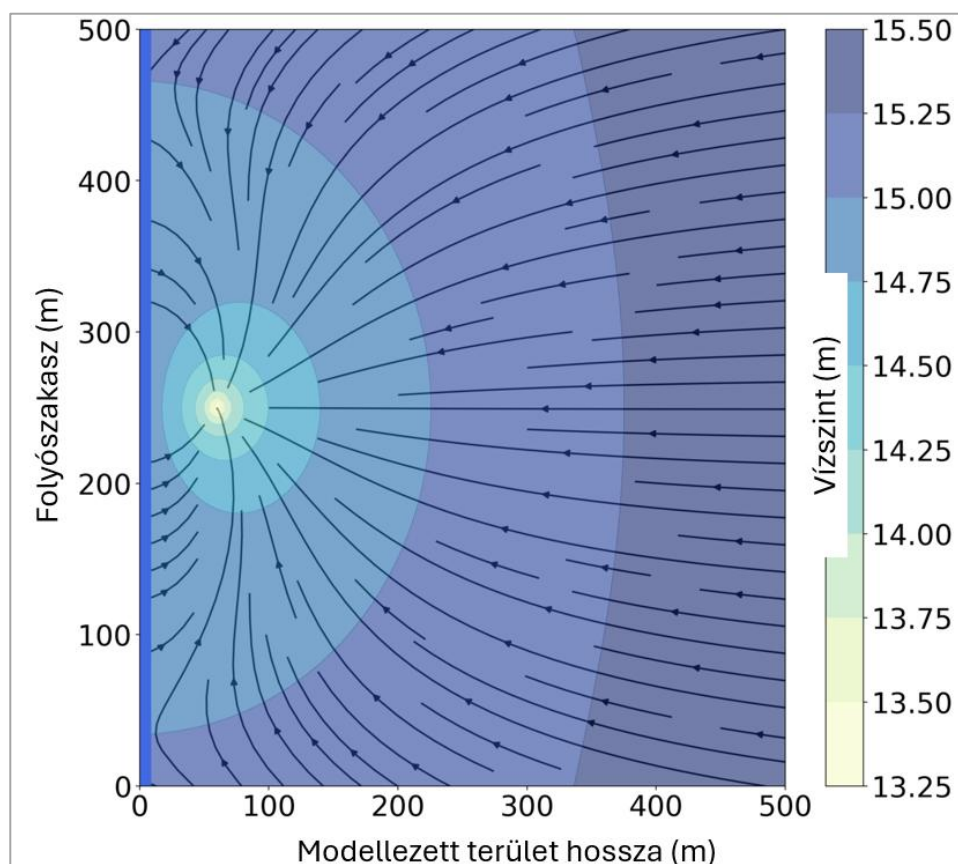
Munkánk során arra voltunk kíváncsiak, hogy az RBFsim applikáció által számított vízszint eloszlás mennyiben tér el egy más módszert alkalmazó szoftver által számított vízszinteloszlástól. A vizsgálat elvégzéséhez a MODFLOW programot használtuk, amely véges differencia módszert alkalmazó program (Kovács 2004). A két módszer összehasonlításához mindkét programban lefuttattunk egy egyszerű modellt, amelyek azonos paraméterekkel rendelkeztek. A modell steady state állapotot mutat, tehát egy permanens állapotot feltételez. A termelőkút a folyótól 60 m távolságban helyezkedik el. Az alkalmazott szivárgáshidraulikai paramétereket az 5. táblázat mutatja.

5. táblázat, Az összehasonlítás során alkalmazott hidraulikai paraméterek
Table 5. Hydraulic parameters used during the comparison

Kategória	Adat	Mértékegység	Érték
Vízadóra vonatkozó adatok	Vízadó vastagsága	m	15
	Effektív porozitás	[-]	0,2
	Hidraulikus gradi- ens	‰	0,001
	Szivárgási tényező	m/nap	50
Termelőkútra vonatkozó adatok	Kút azonosítója	[-]	1
	Termelt hozam	m ³ /nap	2000
Folyóra vonatkozó adatok	Kolmatált réteg vas- tagsága	m	0,01
	Kolmatált réteg szí- várgási tényezője	m/nap	0,5
	Folyó vízszintje	m	15

Az összehasonlító vizsgálat abból állt, hogy az RBFsim alkalmazást lefuttattuk az 5. táblázatban szereplő paraméterekkel. Ez után a Groundwater Modeling System (GMS) program segítségével egy MODFLOW modellt építettünk fel, amely ugyanezekkel a paraméterekkel és az RBFsim által alkalmazott peremfeltételekkel dolgozik. Az RBFsim által számított eredmények több típusban elérhetőek. Az alkalmazás egy pdf dokumentumot generál,

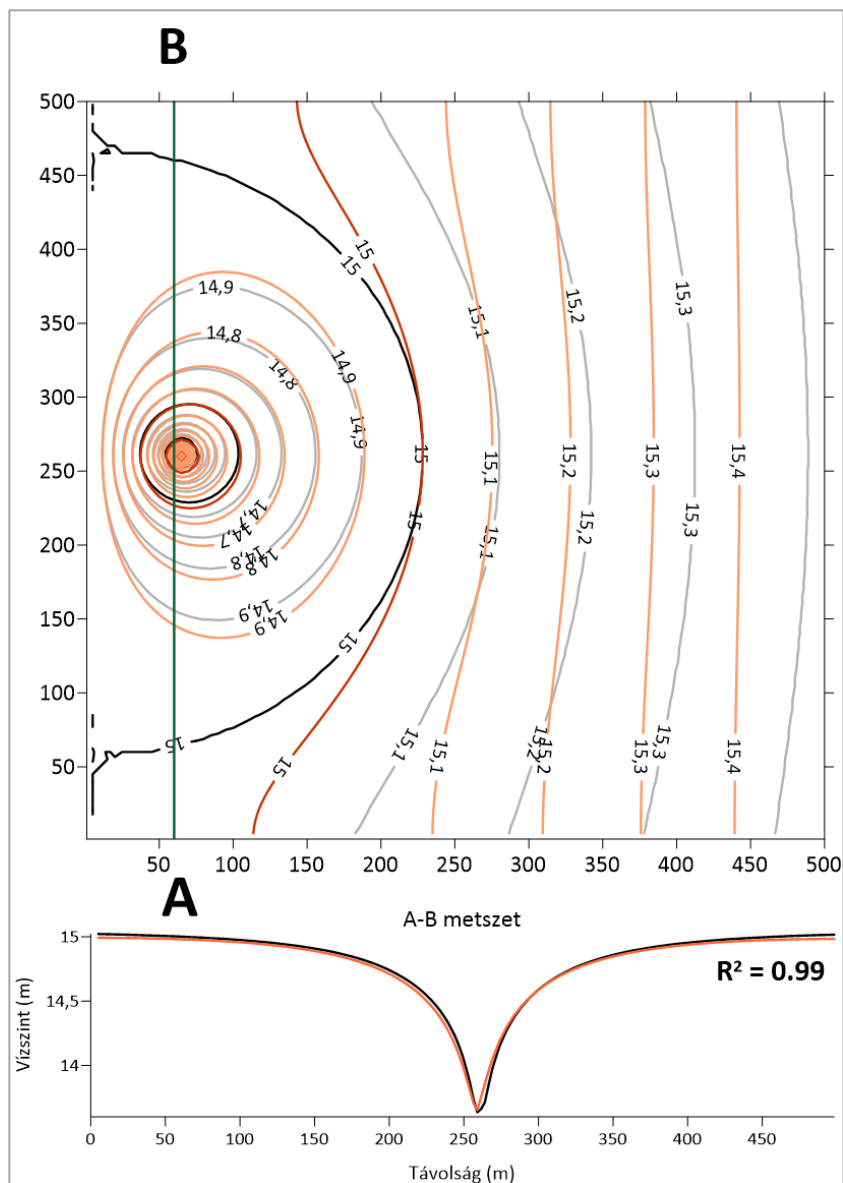
amelyben a bemeneti adatok és a számított eredmények is megtalálhatóak. Eredményként egy vízszint eloszlás térképét, egy elérési idő adatait ábrázoló térképet, valamint folyóhányadra és elérési időre vonatkozó adatokat kapunk. A kapott adatokat csv fájlban is le tudjuk tölteni, így jól összehasonlíthatóak más módszer eredményeivel is. Az RBFsim alkalmazás által számított vízszinteloszlás térképét a 2. ábra mutatja.



2. ábra. Az RBFsim alkalmazás által generált vízszinteloszlás térkép az áramlási pályákkal
Figure 2. Head distribution calculated by RBFsim application

Az összehasonlítás során a MODFLOW programban is ugyanazt a modellt építettük fel, mint amivel az RBFsim számolt. A modell 500 m x 500 m területet fed le. A cellák mérete 5 m x 5 m. A nyugati peremet a folyó adja, a keleti peremet pedig állandó nyomású cellákkal definiáltuk. A termelőkút folyótól való távolsága 60 m. A két módszer által számított vízszinteloszlás összehasonlítását a 3. ábra mutatja. Az összehasonlítás során azt

tapasztaltuk, hogy a két módszer által számított vízszintkülbségek elfogadható mértékűek, a 3. ábra A-B met-szetén például 7 cm a legnagyobb vízszintkülbség. A 3. ábraán látható az R^2 értéke is, amely 0,99-nek, míg az RMSE érték 0,031-nek adódott. Megállapítható tehát, hogy az RBFsim alkalmazása a mi számításaink szerint is nagy megbízhatósággal használható parti szűrészű rendszerek kezdeti értékelése során.



3. ábra. Az RBFsim (fekete vonalak) és a MODFLOW (sárga vonalak) által számított vízszinteloszlás, valamint az A-B metszetben számított vízszintek

Figure 3. Head distribution calculated by RBFsim (black lines) and MODFLOW (orange lines), and the calculated water level in the A-B cross section.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánkban a hazánkban is nagy jelentőséggel bíró parti szűrészű rendszerek értékelésével foglalkoztunk. A nyugati országokban már régóta alkalmazott rendszerekről nagy mennyiségű információ és üzemeltetési tapasztalat áll rendelkezésre, amelyet fel tudunk használni újonnan létesülő parti szűrészű rendszerek kezdeti értékelésénél is. Ezen vízbázisokat az afrikai és ázsiai országok is egyre nagyobb mértékben alkalmazzák, hiszen a vízkezelési folyamatok egy részét természetes szűrő mechanizmusok révén a parti

szűrész már elvégzi. Ez hozzájárul ahhoz, hogy a nagy költségigényű technológiák alkalmazását kiváltsuk és a kitermelt víz szennyezőanyag koncentrációját mindinkább lejjebb szorítsuk. Tanulmányunkban a főbb kutatási irányokat, valamint a korábbi üzemeltetési és kutatási tapasztalatok segítségével kifejlesztett értékelési rendszert mutattuk be. Ez a rendszer főként a hidrogeológiai adottságokat veszi figyelembe és egy terület alkalmassági indexbe (SSI) tömöríti ezen adottságokat. Bemutattunk egy olyan egyszerű alkalmazást is, amely egy parti szűrészű vízbázis

kezdeti értékeléséhez használható. Ez egy olyan gyors és könnyen alkalmazható eljárás, amellyel vizsgálni tudjuk azt, hogy egy tervezett parti szűrészű kút milyen hidraulikai változásokat idéz elő egy területen. Ezzel az alkalmazással egyszerűsítések révén számítani tudjuk a tartózkodási időt, a kialakuló depressziót, valamint a kút folyótól való távolságának hatását. Az alkalmazás az analitikus elemek módszerét (AEM) alkalmazza, amelynek eredményeit egy egyszerű példa segítségével összehasonlítottuk a véges differencia módszer által számított vízszinteloszlással. A modellezéshez a Groundwater Modeling System keretprogramot alkalmaztuk, amelyben a MODFLOW programcsomag használható. A két módszer összehasonlítása jó eredményt adott, amely igazolja az RBFsim alkalmazás létjogosultságát a parti szűrészű rendszerek korai szakaszának értékelésénél.

Habár a bemutatott eszközök alkalmazása főként az újonnan létesülő parti szűrészű rendszereknél lehet indokolt, hazánkban teret kaphatnak a távlati ivóvízbázisaink értékelésében is. Ezen eszközök segítségével lehetnek az oktatási intézményeknek is, hiszen a hallgatók ezáltal interaktív módon nyerhetnek betekintést a parti szűrészű rendszerek működésébe.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta. Köszönjük a Bírálók hasznos észrevételeit.

IRODALOMJEGYZÉK

123/1997. (VII. 18) Korm. rendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási létesítmények védelméről.

Abdel-Fattah, A., Langford, R., Schulze-Makuch, D. (2008). Applications of particle tracking techniques to bank infiltration: a case study from El Paso, Texas, USA. *Environmental Geology* 55 (3), pp. 505-515. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0996-z>

Bradley, P.M., Larry, B.B., Joseph, W.D., William, T.F., Edward, T.F., Laura, E.H., Kasey, J.H., Steffanie, H.K., Dana, W.K. (2014). Riverbank filtration potential of pharmaceuticals in a wastewater-impacted stream. *Environmental Pollution* 193, pp. 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.028>

Caldwell, T.G. (2006). Presentation of Data for Factors Significant to Yield From Several Riverbank Filtration Systems in the US and Europe. *Riverbank Filtration Hydrology*. Springer, pp. 299-344. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2001.tb02362.x>

Chen, X. (2001). Migration of induced-infiltrated stream water into nearby aquifers due to seasonal ground water withdrawal. *Ground Water* 39 (5), pp. 721-729. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2001.tb02362.x>

Constantz, J. (2008). Heat as a tracer to determine streambed water exchanges. *Water Resources Research* 44 (4). <https://doi.org/10.1029/2008WR006996>

Czuppon Gy., Tóth A., Fekete E., Főrizs I., Engloner A., Kármán K., Dobosy P., Nyíri G., Madarász T., Szűcs P. (2024). Stable isotope and hydrogeological measurements: Implications for transit time and mixing ratio in a riparian System of the Danube River, *Journal of Hydrology*,

650(132412), <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132412>

De Vet, W., Van Genuchten, C.C.A. (2010). Water quality and treatment of river bank filtrate. *Drinking Water Engineering Science* 3 (1), pp. 79-90. <https://doi.org/10.5194/dwes-3-79-2010>

Derx, J., Blaschke, A.P., Farnleitner, A.H., Pang, L. (2013). Effects of fluctuations in river water level on virus removal by bank filtration and aquifer passage—a scenario analysis. *Journal of Contaminant Hydrology* 147, pp. 34-44. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2013.01.001>

Doussan, C., Poitevin, G., Ledoux, E., Detay, M. (1997). River bank filtration: modelling of the changes in water chemistry with emphasis on nitrogen species. *J. Contam. Hydrol.* 25 (1), pp. 129-156. [https://doi.org/10.1016/S0169-7722\(96\)00024-1](https://doi.org/10.1016/S0169-7722(96)00024-1)

Erdélyi N., Gere D., Fekete E., Nyíri G., Engloner A., Tóth A., Madarász T., Szűcs P., Nagy-Kovács Zs.Á., Pándics T., Vargha M. (2025). Transport model-based method for estimating micropollutant removal efficiency in riverbank filtration, *Water Research*, 275(123194), <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123194>

Ghazali, M.F., Adlan, M.N., Rashid, N.A.A. (2015). Riverbank filtration: evaluation of hydraulic properties and riverbank filtered water at Jenderam Hilir, Selangor. *Jurnal Teknologi* 74 (11). <https://doi.org/10.11113/jt.v74.4857>

Gorski, J. (2011). Quality of Riverbank Filtrated Water on the Base of Poznan City Poland: Water Work Experiences. *Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries*. Springer, pp. 269-279. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0026-0_16

Hoang, N.A.T., Covatti, G., Grischek, T. (2022). Methodology for evaluation of potential sites for large-scale riverbank filtration. *Hydrogeology Journal* 30, 1701–1716. <https://doi.org/10.1007/s10040-022-02522-4>

Holzbecher, E. (2006). Calculating the effect of natural attenuation during bank filtration. *Comput. Geosci.* 32 (9), Hoffman és Gunkel 2009:

Hoffmann A., Gunkel, G. (2009). Bank filtration in the sandy littoral zone of Lake Tegel (Berlin): Structure and dynamics of the biological active filter zone and clogging processes, *Limnologia*, 41(1), 10-19 <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.12.003> pp. 1451-1460. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.01.009>

Hiscock, K.M., Grischek, T. (2002). Attenuation of groundwater pollution by bank filtration *J. Hydrol.*, 266, pp. 139-144. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00158-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00158-0)

Hubbs, S.A. (2006). Changes in Riverbed Hydraulic Conductivity and Specific Capacity at Louisville. *Riverbank Filtration Hydrology. Impact on System Capacity and Water Quality Nato Science Series IV (60)*. Springer, pp. 199-220. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3938-6_9

Juhász J. (1976). Hidrogeológia, Akadémiai kiadó, Budapest, ISBN 963 05 0785 4

Kármán K., Maloszewski P., Deák J., Főrizs I., Szabó Cs. (2014). Transit time determination in riverbank

filtrated system by oxygen isotopic data using the lumped parameter model. *Hydrological Sciences Journal*, 59 (6), pp. 1109-1116. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.808345>

Kovács B. (2004). Hidrodinamikai és transzportmodellezés I. (Processing Modflow környezetben), Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Közvetlen Tan-szék, GAMA-GEO Kft. ISBN 963 661 636 1

Lautz, L.K., Siegel, D.I. (2006). Modeling surface and ground water mixing in the hyporheic zone using MODFLOW and MT3D. *Adv. Water Resour.* 29 (11), pp. 1618-1633. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.12.003>

Lee, E., Hyun, Y., Lee, K.K., Shin, J. (2012). Hydraulic analysis of a radial collector well for riverbank filtration near Nakdong River, South Korea. *Hydrogeology Journal* 20 (3), pp. 575-589. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0821-3>

Mustafa, S., Bahar, A., Aziz, Z.A., Suratman, S. (2014). Review of the role of analytical modelling methods in riverbank filtration system. *Jurnal Teknologi* 71 (1). <https://doi.org/10.11113/jt.v71.3055>

Nagy-Kovács Z., Davidesz J., Czihát-Mártonné K., Till G., Fleit E.; Grischek T. (2019). Water Quality Changes during Riverbank Filtration in Budapest, Hungary. *Water*, 11, 302. <https://doi.org/10.3390/w11020302>

Nyiri G., Kovács B., Zákányi B., Szűcs P. (2022). Tartózkodási idő vizsgálata csápos kutak esetében, *Hidrológiai Közlöny*, 102. évf. 4.szám, pp. 62-66.

Ojha, C.S.P. (2011). Simulating Turbidity Removal at a River Bank Filtration Site in India Using SCS-CN Approach, *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000498](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000498)

Ray, C. (2008). Worldwide potential of riverbank filtration. *Clean Techn Environ Policy* 10, 223-225. <https://doi.org/10.1007/s10098-008-0164-5>

Ray, C., Melin, G., Ronald B. Linsky R.B. (2003). *Riverbank Filtration, Improving Source-Water Quality* Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/0-306-48154-5>

Ray, C., Prommer, H. (2006). Clogging-Induced Flow and Chemical Transport Simulation in Riverbank Filtration Systems. *Riverbank Filtration Hydrology*. Springer, pp. 155-177. <https://doi.org/10.11113/jt.v71.3055>

Salamon, E., Goda, Z. (2019). Coupling Riverbank Filtration with Reverse Osmosis May Favor Short Distances between Wells and Riverbanks at RBF Sites on the

River Danube in Hungary. *Water*, 11, 113. <https://doi.org/10.3390/w11010113>

Sandhu, C., Grischek, T., Kumar, P., Ray, C. (2011). Potential for riverbank filtration in India. *Clean Technol. Environ. Policy* 13 (2), pp. 295-316. <https://doi.org/10.1007/s10098-010-0298-0>

Schubert J. (2006). Experience with riverbed clogging along the Rhine river. *Riverbank filtration hydrology. Impact on System Capacity and Water Quality* Nato science series IV (60), Springer, pp. 221-242. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3938-6_10

Shamrukh, M., Abdel-Wahab, A. (2008). Riverbank filtration for sustainable water supply: application to a large-scale facility on the Nile River, *Clean Techn Environ Policy* 10, pp. 351-358., <https://doi.org/10.1007/s10098-007-0143-2>

Shamsuddin, M.K.N., Sulaiman, W.N.A., Suratman, S. (2014). Groundwater and surface-water utilisation using a bank infiltration technique in Malaysia. *Hydrogeology Journal* 22 (3), pp. 543-564. <https://doi.org/10.1007/s10040-014-1122-4>

Shankar, V., Eckert, P., Ojha, C., König, C.M. (2009). Transient three-dimensional modeling of riverbank filtration at Grind well field, Germany. *Hydrogeology Journal*, 17(2), pp. 321-326. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0356-4>

Székely F., Nyiri G., Szűcs P., Zákányi B. (2021). Analytically supported numerical modeling of horizontal and radial collector wells, *Journal of Hydrologic Engineering*, 26(12). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0002137](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002137)

Tolnai B. (szerk.) (2008). *Vízellátás, Mátyus Sándor nyomán, A Fővárosi Vízművek Zrt. üzemeltetői ismeretanyaga*, Budapest

Umar, D.A., Ramli, M.,F., Aris, A.,Z., Sulaiman, W.N.A., Kura, N.U., Tukur, A.I. (2017). An overview assessment of the effectiveness and global popularity of some methods used in measuring riverbank filtration, *Journal of Hydrology*, 550, pp. 497-515. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.021>

Völgyesi I. (2014). Parti szűrés? Biztos?, *Hidrológiai Közlöny*, 94(1), pp. 21-24.

Yadav, P.K., Batheja, V., Köhler, A., Cantarella, V., Tufail, M., Werth, C., Grischek, T. (2024). RBFsim – A tool for early planning stage of riverbank filtration Systems, *Sustainable Water Research Management* 10(167), <https://doi.org/10.1007/s40899-024-01137-9>

A SZERZŐK



NYÍRI GÁBOR 2013-ban végzett a Miskolci Egyetemen környezetmérnök alapszakon, majd tanulmányait a Miskolci Egyetem hidrogeológus mérnöki mesterszakán folytatta, ahol 2015-ben szerzett okleveles hidrogeológus mérnök végzettséget. 2015-től 2016-ig az Északmagyarországi Regionális Vízművek ZRt. környezetvédelmi megbízottja. 2016-tól a Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskolájának PhD hallgatója. Fő kutatási területe a parti szűrészű rendszerekhez, valamint a csápos kutakhoz kapcsolódik. Abszolutóriumot 2021. július 12-én szerzett, PhD értekezését 2022. júliusában sikeresen megvédte. Jelenleg a Miskolci Egyetem, Víz- és Környezetgazdálkodás Intézetének tudományos munkatársa.



SZŰCS PÉTER a Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Karán szerzett kitüntetéses geofizikus-mérnöki oklevelet 1988-ban. Oktatói és kutatói pályájának elején először a Geofizikai Tanszéken, majd az MTA Bányászati Kémiai Kutatólaboratóriumában dolgozott. 1993-ban Dr. Univ. címet, majd 1996-ban PhD doktori oklevelet szerzett. 2009-ben megszerzi az MTA doktora tudományos címet, illetve sikeresen habilitált (Dr. habil.) a Miskolci Egyetemen. 1998 óta a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Tanszékén dolgozik. 2010-től a tanszék vezetője. 2010-ben egyetemi tanári kinevezést kapott. Az MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport vezetője 2012-től 2022-ig. Publikációinak száma több mint 640. 2022-ben az MTA levelező tagjává választották. 1998-tól a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.



Egy csápos kút csápjának kihajtásához használt indítóelem (Nyíri Gábor felvétele)

Talajfelszíni és digitális téradatokkal bővített lefolyásmodell összehasonlítása hagyományos lefolyásmodellekkel

Dobai András¹, Bíró Tibor², Deák Tamás¹, Dobos Endre¹

¹ Miskolci Egyetem, Műszaki Föld-és Környezettudományi Kar, Földrajz-Geoinformatika Intézet (e-mail: andras.dobai@uni-miskolc.hu, endre.dobos@uni-miskolc.hu, tamas.deak@uni-miskolc.hu)

² Nemzeti Községi Egyetem, Környezeti Fenntarthatósági Intézet, (e-mail: biro.tibor@uni-nke.hu)

DOI: 10.59258/hk.20916



Kivonat

A villámárvizek kezelése napjaink egyik legsürgetőbb vízgazdálkodási kihívásai közé tartozik, különösen a kisvízgyűjtők területein, ahol a rövid ideig tartó, de intenzív csapadékesemények aránytalanul nagy károkat okozhatnak. Kialakulásuk szorosan összefügg a domborzattal, a talaj vízháztartási tulajdonságaival és a felszínborítással, így előrejelzésük komplex, több tudományágat érintő feladat. Az éghajlatváltozás miatt egyre gyakoribbá és hevesebbé váló csapadékesemények szükségessé teszik olyan modellezési módszerek alkalmazását, amelyek a vízgyűjtők fizikai jellemzői mellett a területi érzékenységet is figyelembe veszik. A hazai vízepítési gyakorlat a hidrológiai modellek és empirikus módszerek széles eszköztárát alkalmazza, ugyanakkor a pontosabb előrejelzésekhez elengedhetetlen a villámárvíz-érzékeny területek térképezése, az érintett vízgyűjtők értékelése és a várható vízhozamok becslése. Jelen kutatás a Cseres-völgy vízgyűjtőjét mutatja be, amely a helyi vízkáresemények és a kockázatértékelési eredmények alapján magas kockázatú területnek számít. A vizsgálat célja a várható vízhozamok meghatározása, valamint a Miskolci Egyetem által fejlesztett, térinformatikai és távérzékelési adatokra épülő lefolyásmodell tesztelése. A modell egyszerűen értelmezhető és parametrizálható eszközt kíván nyújtani az árvízi védekezés támogatásához.

Kulcsszavak

Villámárvíz, HEC-HMS, térinformatika (GIS), digitális talajtérképezés, lefolyás modellezés.

Comparison of a runoff model enhanced with soil and digital spatial data to conventional runoff models

Abstract

Flash floods are among the most pressing contemporary challenges in water management, particularly in small catchment areas where short but intense rainfall events are associated with significant impact on the environment. Their occurrence is closely linked to topography, soil hydrological properties, and land cover, making their prediction a complex, interdisciplinary task. Due to climate change, extreme precipitation events are becoming more frequent and intense, necessitating modelling approaches that not only account for the physical characteristics of catchments but also incorporate spatial sensitivity. Although local hydraulic engineering practice relies on a wide range of hydrological models and empirical methods, accurate forecasting requires the mapping of flash flood-prone areas, the assessment of affected catchments, and the optimization of expected runoff volumes. In this study, the Cseres Valley catchment is presented, which has been classified as high-risk based on both actual flood events and risk assessment results. Expected runoff volumes are determined, and a runoff model developed at the University of Miskolc—based on geographic information systems (GIS) and remote sensing data—is tested. The model is intended to serve as an easily interpretable and parameterizable tool for supporting flood risk management and decision-making.

Keywords

Flash-flood, HEC-HMS, GIS, digital soil mapping (DSM), runoff modelling.

BEVEZETÉS

A villámárvizek jelenségének az elmúlt évtizedekben megnövekedett gyakorisága a vízgazdálkodás, az árvízvédelem, valamint a települési vízrendezés egyik legsürgetőbb kihívásává vált, különösen a kisvízgyűjtők területein, ahol a gyors lefolyású, rövid ideig tartó, de rendkívül intenzív csapadékesemények súlyos károkat okozhatnak. Ezek az események jellemzően kis területre korlátozódnak, azonban hatásuk – például hirtelen vízszintemelkedés, jelentős talajerózió vagy infrastruktúrát ért károsodás – aránytalanul nagy lehet. Mindezek alapján szükséges egy komplex szemléletű, de könnyen kezelhető, tervezést támogató keretrendszer létrehozása a hazai felszínborítási és talajtulajdonságok (pl. talajok fizikai, kémiai tulajdonságai) integrálásával. A kisvízgyűjtők hidrológiai tulajdonságaihoz illeszkedő és azok meteorológiai, valamint talajtani paramétereit folyamatosan bővítő modellek története hazánkban

Bogdánfy Ödön munkásságától napjainkig, már több mint 110 éves múltat tekint vissza. A témában kutatók közös megállapítása, hogy a csapadék intenzitása nagymértékben meghatározza a kisvízgyűjtőkön levonuló árhullámok fajlagos vízmennyiségét, majd ezek alapján megalkották a mértékadó árvíz fogalmát (*Koris 2021*). A víztudományi kutatások folyamatosan figyelemmel kísérték és implementálták a talajtan által alkalmazott módszertanokat és azok eredményeit, azonban a XX. század második felében, a nagyüzemi mezőgazdaság megjelenésével, egyre nagyobb hangsúlyt kapott a talajok tulajdonságainak mezőgazdasági célú értelmezése, így a hegy- és dombvidéki területek talajainak leírása háttérbe szorult. A hidrológia és a talajtan a digitális adatbázisok korában is kapcsolatban maradtak, ennek a kiemelt példája az 1:25 000 léptékű Kreybig Lajos-féle (ma már digitálisan is elérhető) talajtérkép (*URL5*), amely figyelembe veszi a talajhasználati

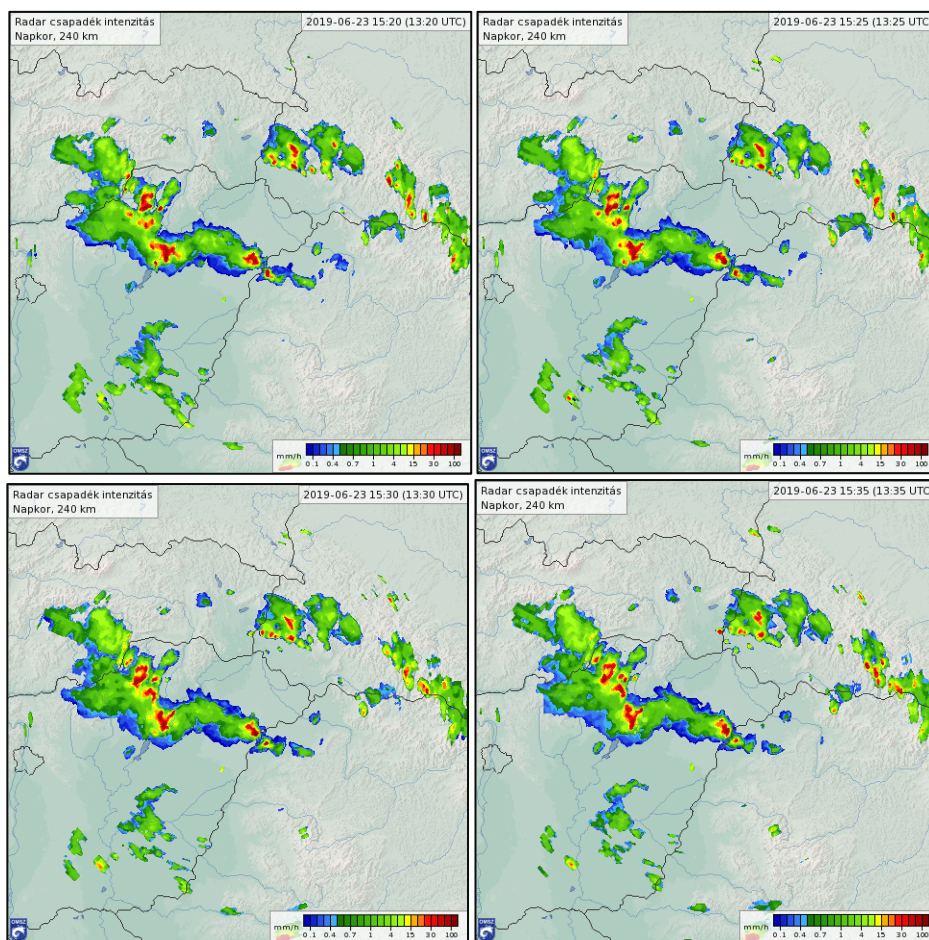
szempontokat is, ezért a mai napig értékes kiindulópontot jelenthet mind a mezőgazdasági tervezésben, mind pedig a környezeti és hidrológiai modellezésekben (*Zsuffa 1997, Pásztor és társai 2010*).

Napjainkban a tervezési vízhozam meghatározása az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) főigazgatósági utasításában rögzített racionális méretezési módszere tekinthető irányadónak. A tervező mérnök jogosult a módszertan megválasztására, amelyhez a rendelkezésre álló csapadék- és vízhozamidősorok, továbbá az ezekből származtatható statisztikai adatok szolgálnak alapul. Általános gyakorlat szerint belterületen $Q_{3\%}$ -os, külterületen $Q_{10\%}$ -os tervezési vízhozamot kell figyelembe venni, ugyanakkor minden tervezési feladat egyedi mérlegelést igényelhet. Az adott vízgyűjtőről származó ismeretanyag alapján empirikus alapokon nyugvó, vázlatos (pl.: racionális módszer, OVF-segédlet), illetve részletesebb (pl.: egységárhullámkép) eredményt adó hidrológiai modellek alkalmazhatók a tervezési vízhozam meghatározásakor (*OVF 2024a, OVF 2024b, Koris 2002*). Ezen módszertanokban foglalt várható vízhozam tartományok ellenére, a szélsőséges csapadékeseményekkel járó villámárvizek továbbra is növelik a műszaki bizonytalanságot, ezért a pontos tervezhetőséghez egyre több rendelkezésre álló téradat bevonása szükséges. Ezen adatcsoportok számszerűsítéséhez szükséges a vízgyűjtő villámárvíz-kockázatának térképezése (*Czigány és társai 2009, Sarkadi és társai 2022, Dobai és Dobos 2025*). A lefolyásmodellezés bemeneti adatainak minőségét nagyban növelhetik a kockázati térképezés során felhasznált felszínleíró (pl.: digitális domborzatmodell), valamint távérzékelésből származó állományok (pl.: felszínborítás térképek). Ezek bevonása javítja a modellek pontosságát, bizonyos esetekben lehetővé téve akár teljes viharesemények rekonstrukcióját is (*Knebl és társai 2005, Aaron és Venkatesh 2009, Sabeti és társai 2024*).

A térképanyagok hazai vízgyűjtőkre való alkalmazása során először a magas kockázatú területek kerültek azonosításra, amelyeket az árvízi káresemények és az előzetes kockázati felmérések eredményei is megerősítettek. A magas kockázatú vízgyűjtők kijelölését követően a békeidőben megvalósítható, preventív jellegű védekezési lehetőségek vizsgálata következett egy ismert, magas kockázatú vízgyűjtőn (*Dobai és Dobos 2022*). A tanulmányban a szádlemezékből (U-profilú Larssen) kialakítható, többlepcsős szádfalsor alkalmazását értékeltük. Ez a módszer az

INTERREG-HUSK/2302/1.2/134-Floman elnevezésű projektben is szerepelt, amelynek kivitelezését a Havaria Kft. biztosította volna a projekt megvalósulása esetén. A magas kockázatú vízgyűjtők lokalizálása és az újszerű védekezési módszerek vizsgálata ellenére a villámárvizek jellemzői – például a mért vízhozam adatsorok és a csapadékinтенzitás hiánya – továbbra is jelentős bizonytalanságot okoznak a modellezésben. Azonban az élet- és vagyonvédelem érdekében fontos, hogy a digitális adatok fejlődésével a rendelkezésre álló információk segítségével felvázolásra kerüljenek az egyes viharesemények lehetséges forgatókönyvei. A műszaki bizonytalanság csökkentésében nagy segítséget nyújtott a rendelkezésre álló HungaroMet által készített 5 perces időbeli felbontású radarfelvétel (*1. ábra*), valamint az OVF éves hidrometeorológia jelentései. A szűken vett mintaterületen belül pedig, az ACQUIS Bt. által, 2020-ban készített „Kondó községben 2019. június 23-án bekövetkezett vis maior esemény okozta károsodások helyreállítása” elnevezésű terv dokumentációjában foglalt adatok voltak hasznosak (*ACQUIS 2020*). A mintaterület esetében a 2019. évi csapadékesemény volt az évtized utolsó, jelentősebb károkozással járó vihareseménye.

A területet érintő mezoskálájú konvektív rendszerek (MKR) viharaiából származó árhullámokról általánosságban elmondható, hogy a településen átfolyó Harica-patak a főmederben levonuló árhullámot képes levezetni, egyrészt a belterületi csapadékvíz elvezető rendszer megfelelő méretezése, másrészt a felvízi oldalon épített záportározónak köszönhetően (*ÉMKTVF 2013*). Jelentősebb károkozást a teljes medertelítettséget meghaladó, környező kisebb vízgyűjtőkből érkező, gyors sebességű többlet víz mennyiségek okoznak, amelyek így jelentős károkat okoznak a települési infrastruktúrában (épületek, magántulajdonú ingatlanok, utak, hidak). Ezek az árhullámok a Harica vízgyűjtő jobb parti mellékvízgyűjtőiből érkeznek, mivel a bal parti vízgyűjtőből (pl.: Varrom-p.) származó vízmennyiségek, a káreseményeket összefoglaló jelentések alapján nem számottevőek, továbbá a károkozás utca szintű azonosíthatósága alapján a vonulási útvonalai kikövetkeztethetők (*B.A.Z. MKI 2021*). Ezek a vízgyűjtők azonosításra, leírásra, valamint kockázati kategorizálásra kerültek, így a környék vízgyűjtői feltártnak minősülnek a villámárvíz szempontjából (*Dobai és Dobos 2022, Dobai és Dobos 2025*).



1. ábra. A 2019. 06. 23-án villámárvizet okozó viharzóna digitalizált radarképe (URL6)
Figure 1. The digitized radar image of the storm zone that caused a flash flood on 23 June 2019 (URL6)

Jelen vizsgálatunk tárgya a kockázati térképi adatbázis alapján lokalizálható, magas villámárvízi kockázatba tartozó Cseres-völgyből érkező vízhozam meghatározása, amely a Miskolci Egyetem Földrajz-Geoinformatika Intézetében fejlesztett ME-Hydrograph elnevezésű lefolyás-moddellel valósul meg. Az eredményeket a műszaki körben elfogadott, HEC-HMS szoftver SCS-CN, valamint Green & Ampt módszereivel kapott eredményekkel hasonlítottuk össze. Mindkét módszer képes a rövid idő alatt lejátszódó, intenzív csapadékesemények hidrológiai következményeinek megbízható meghatározására, ugyanakkor eltérő megközelítéseik biztosítják a modellezés pontosságát és rugalmasságát. Az SCS-CN módszer egyszerűsége és empirikus alapja révén előrejelzés tesz lehetővé, amely jól alkalmazható a vízgyűjtők átlagos viselkedésének értékelésére, miközben a hidrográf-generálás során figyelembe veszi a kezdeti veszteségeket és a tározási kapacitást. Ezzel szemben a Green & Ampt módszer fizikai alapú megközelítése a talajfizikai paraméterek – mint a telítési víztartalom, hidraulikus vezetőképesség és szívóhatás – figyelembevételével képes részletesebb beszivárgási folyamatokat modellezni, így a térbeli és időbeli változékonyságot is pontosabban leképezi. Az ME-Hydrograph a két módszer között helyezkedik el, ötvözve az empirikus és konceptuális megközelítéseket a térinformatikai eszközökkel. A modell osztott paraméterű felépítése lehetővé teszi, hogy a vízgyűjtő minden cellájára külön-külön számításokat végezzon, a digitális domborzatmodell (DEM), a DEM-ből származtatott felszínleíró állományok csoportja,

valamint a felszínborítás és a talajtani adatok integrálásával. Eseményalapú megközelítése ugyan bizonyos korlátokat szab a felhasználására, azonban képes egyszerre több kifolyási pontot is kezelni. A cellánkénti koncentrációs idő és a lefolyási útvonalak figyelembevétele lehetővé teszi a hidrográfok időbeli lefutásának és csúcspontjának meghatározását. A raszteres beszivárgási együttható réteg egyszerűsége ellenére hatékonyan integrálja a talaj és felszínviszonyok hatását, miközben a teljesen rácsalapú számítási struktúra lehetővé teszi az elöntési útvonalak és a kiterjedések vizualizálását.

A vizsgálatához szükséges a vízgyűjtő hidrológiai karakterizációja, valamint talajtani és felszínborítási jellemzőinek ismerete, így a következő lépésben megtörtént a vízgyűjtő talajtani felmérése, majd az ismert csapadékesemények alapján a várható vízhozam modellezése.

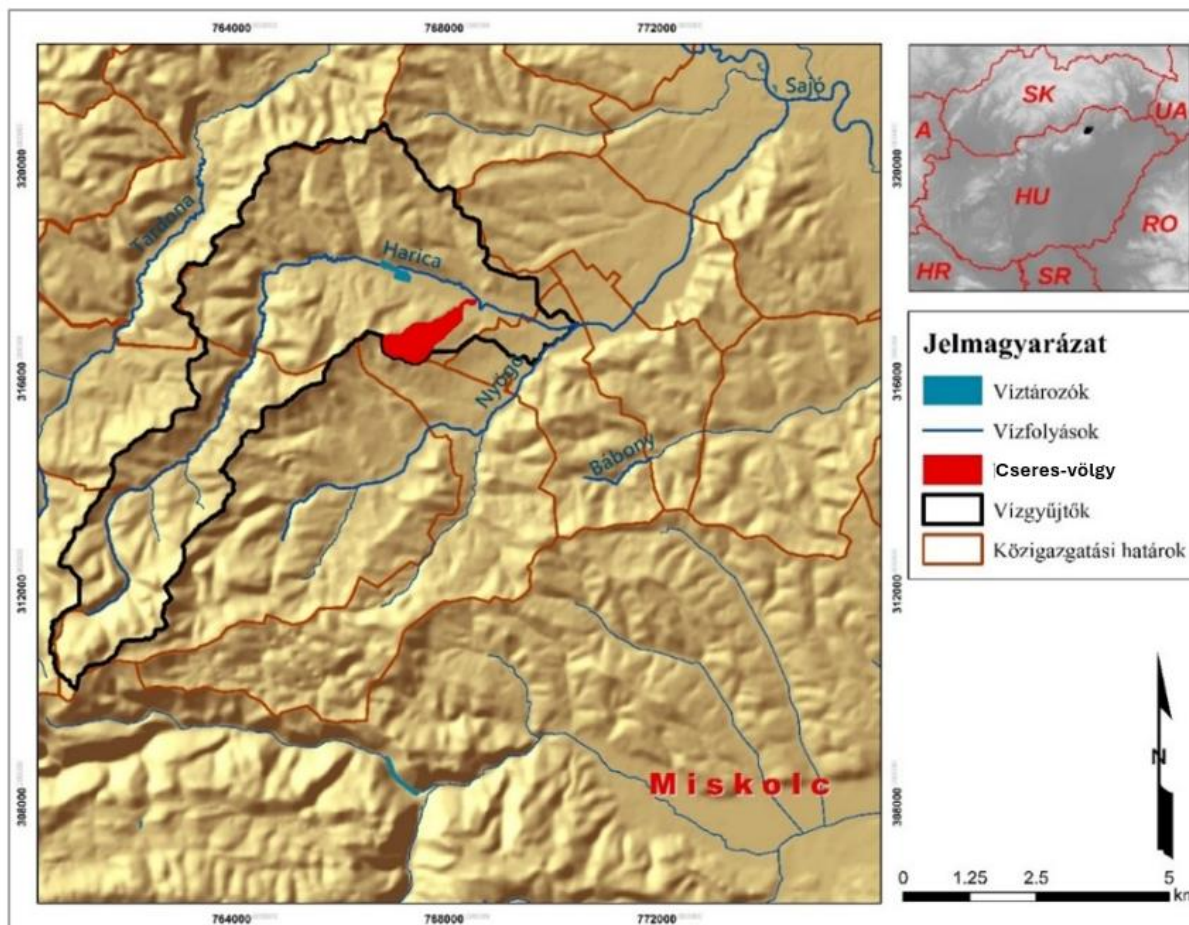
ANYAG ÉS MÓDSZER

Mintaterület

A mintaterületet képző Cseres-völgy a Harica jobb parti vízgyűjtőjében, Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyében, Kondó település délnyugati határában található (2. ábra). A völgy, geológiailag az Észak-Borsodi szénmedencehez tartozik, amelyben az eróziós diszkordanciával lerakódó neogén tengeri, valamint tavi üledékek rétegei találhatók (Kozák és Püspöki 1995, Kozák és társai 1998, Harangi 2001). A Cseres-völgy teljes területe az Egyházaskeregi Formációhoz (eMK) tartozik, a mélyben kavics-

konglomerátummal, amelyet homok, homokkő, a felszínen pedig finomabb iszap és agyagréteg fed (Gyalog 1996). A Cseres-völgy V-alakú, 1,6 km hosszú, 665 m széles, a völgytoroknál szűkül, vízgyűjtő területe 0,76 km². A patak köves, homokos medre helyenként 4-5 méter mély-

ségig vágódik be a felszínbe, relatív esése 7,17%. A völgyet különböző fejlettségű, esőzések okozta eróziós árkok kísérik, amelyek a mintaterületen a 2010 óta tavasztól ősziig jelentkező időszakos villámárvizek által is formálódtak (Vágó 2012).



2. ábra. A Cseres-völgy mintaterület elhelyezkedése
Figure 2. Location of the Cseres-valley study area

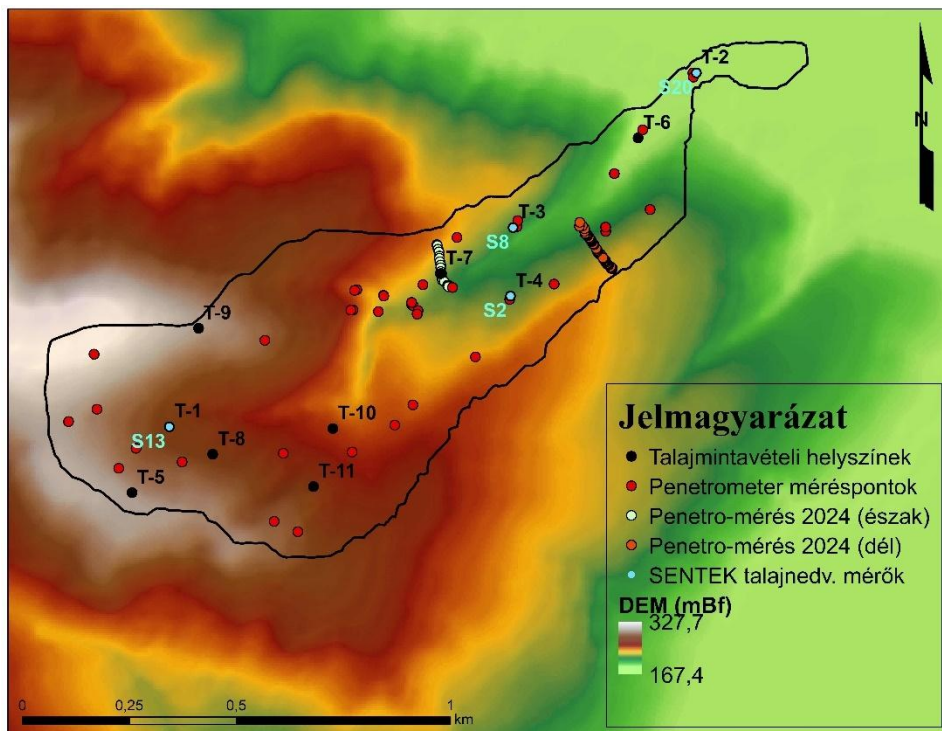
A morfometriai jellemzői alapján megállapítható, hogy a Cseres-völgy vízgyűjtője kis kiterjedésű, mindössze 0,76 km² területű egység, nyújtott formájú, amit a 3,17-es hossz-szélesség arány jelez, ez arra utal, hogy a vízfolyások gyorsan képesek lefolyni a gyűjtőterületről. A 0,21-es cirkularitási érték és az 1,61-es Gravelius-tényező szintén azt mutatja, hogy a vízgyűjtő közel sem kör alakú, inkább megnyúlt, csatornaszerű formát mutat, amely a lefolyás gyorsaságát növeli (Galgóczy 2004). A viszonylag meredek esés és a vízgyűjtő aszimmetrikus szerkezete tovább fokozza az árhullámok gyors kialakulásának lehetőségét, így a terület erősen érzékeny a hirtelen lehulló csapadék okozta villámárvizekre. A Horton-féle relatív lefolyási tényező ($R_f = 1,80$) közepesen sűrű vízhálózatra utal, amely szintén hozzájárulhat a gyors vízmozgáshoz. A völgy paramétereit alapján olyan vízgyűjtőként jellemezhető, amely esetében a geomorfológiai adottságok elősegítik az intenzív és gyors vízlefolást, ezáltal növelve a hidrológiai kockázatot. E feltételezést a kockázattérkékeléssel kapcsolatos tanulmányok is alátámasztották, mind a jelen, mind a környező vízgyűjtők esetében (Dobai és Dobos 2022).

A talajtani adatgyűjtés és talajadatok kiterjesztésének bemutatása

A Cseres-völgy az erdőtalajok zónájába esik, ahol barna erdőtalajok, réti, valamint öntésréti talajok altípusai azonosíthatók, köztük luvisolok (Alfisol), stagnic luvisolok (Epiqualfs) és gleysolok (Aqualfs). A laza üledékeken kialakult erdőtalajok a villámárvizek árhullámainak tompítása szempontjából kedvező feltételeket kínálhatnak, ugyanakkor a helytelen agrotechnika és földhasználat következtében kialakuló tömődött talajszerkezet jelentősen csökkentheti a kedvező hatásokat. A tömődöttség mértékének bemutatására penetrométeres méréseket végeztünk, amelyeket külön fejezetben tárgyalunk. A talajtulajdonságok számszerűsítését korlátozza, hogy a jelenleg elérhető talajtani adatbázisok (AGROTOPO) a megfelelő térbeli felbontás hiányában csupán egyetlen jellemző talajtípust, a Ramann-féle barna erdőtalajt (Luvisol) keresztül reprezentálják a vízgyűjtőt. Ez azonban nem tükrözi a területen előforduló talajok heterogenitását, és nem biztosítja a lefolyásmodellezéshez szükséges alapadatokat sem. Így a vizsgálathoz elengedhetlenné vált a terepi mintavételezésre alapozott digitális talajtérkép előállítás.

A talajszelvényeket a területre jellemző talajtípusok alapján jelöltük ki. A vizsgálat során összesen tizenegy ponton történt talajtani mintavételezés (3. ábra). A talajszelvényekből bolygatott és bolygatatlan talajmintákat vettünk, továbbá WET szenzorral a pillanatnyi talajnedvességi állapotokat rögzítettünk. A beszivárgási sebesség (K) meghatározására nyolc jellemző talajfolton alkalmaztuk a hagyományos, keretes módszert, valamint négy, kihelyezett Sentek talajnedvesség-szenzor helyszínén digitálisan regisztrált beöntözést is végeztünk. A szenzorok működésének lényege, hogy a talaj, a víz és a levegő dielektromos állandóiból (más néven relatív permittivitásból) térfogati víztartalmat számoljon, aminek mértékegysége térfogatszázalék (% v/v). A szenzor 10 centimétereként mér

talajnedvességet, a felső 10 cm-en pedig a hőmérsékletet is méri (Kibirige és Dobos 2021). A hagyományos módszer során egy 25×25 cm-es és egy 50×50 cm-es, élezett peremű, nyéllel ellátott fémkeretet süllyesztettünk a talajba 10 cm mélységig. A kereteket egyszerre töltöttük fel vízzel a 10 cm-es jelölésig, és a beöntési időt rögzítettük. A Sentek szenzorok esetében a talajnedvesség-változásokat a szenzor adattárolójából nyertük ki. A mérés során a külső keret állandó hidrosztatikai nyomást biztosított, hogy a belső keretben levő víz lefelé, a talaj mélyebb rétegei felé szivároгjon és ne oldalirányban távozzon. A külső keretet folyamatosan szinten tartva jegyeztük fel a belső keretben bekövetkező vízszintcsökkenést (Várallyay és Főrizs 1966).



3. ábra. A mintaterületen végzett terepi vizsgálatok helyszínei
Figure 3. Field survey locations within the study area

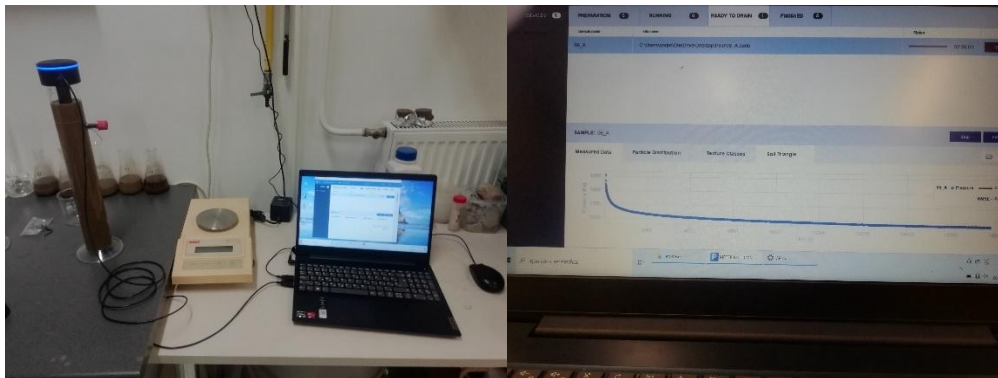
A talajszelvényekhez kapcsolódó terepi és laboratóriumi vizsgálatok idő- és költségvonzata magas, ezért a téma szempontjából fontos tömödöttség gyors és megbízható feltáráshoz a kérdéses talajfolton elektronikus talajvizsgáló nyomószondával talajellenállás mérést is végeztünk. A talaj penetrációs ellenállása az egyik leggyakrabban alkalmazott mutató a talaj fizikai minőségének és talajművelési rendszerek agronómiai értékelésében (Pedrotti és társai 2001, Dexter és társai 2007). Jelen kutatásban a hazai fejlesztésű Penetronik- márkájú elektronikus talajvizsgáló nyomószondát alkalmaztuk, amely segítségével 0-75 cm mélységek között, 2 cm-es lépésközzel regisztrálni lehet a talajfelszín mechanikai ellenállását és a termőréteg nedvességtartalmát a mélység függvényében. A műszer magassága 125 cm, a tartókeret 35 cm x 25 cm, a talajellenállást 0-10 MPa-ig, 50-500 N mérési erőtartományban, a talajnedvességet 0-50 tömeg %-ig méri. A műszer felépítése két függőleges rúdból, valamint a rúdon, mechanikus szerkezet segítségével mozgó műszerdobozból áll, amely az optoelektronikus jeladó segítségével a ta-

lajnedvességgel és a behatolás mélységével arányos villamos jelet képez. A mérési adatok SD-kártyára kerülnek, amely letöltés után alkalmas a számítógépes feldolgozásra (Daróczy és Lelkes 1999, Szőllősi 2003, URL1). A kutatás szempontjából a penetrométeres mérések lehetővé tették a talajművelés okozta tömödöttség mértékének bemutatását. A mintaterületen a vizsgálatokat az egyes évszakok közötti különbségek feltárása érdekében télen és nyáron is elvégeztük, továbbá az északi és déli kitettségű domboldalakon teljes lejtőhosszban végeztünk mérést az erodáltság mértékének tisztázásához, illetve az esetlegesen megjelenő lejtőhordalék talajok lokalizálásához.

A mintázott területekről származó talajminták laboratóriumi elemzésre kerültek. Azonban a pontsűrítés során felmerült további, kérdéses területekről származó minták textúra adataira is szükségünk volt, így azokat saját vizsgálatokkal, Meter-Pario ülepedésvizsgáló készülékkel határoztuk meg. A Pario mérőegységeket a vizsgálat idejére a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Kara bo-

csátotta rendelkezésünkre. A Pario ülepedésvizsgáló berendezés a talajszemcseméret eloszlásának meghatározására szolgál a hidrometrikus (ülepedéses) elven, automatizált formában. A készülék a gravimetrikus szemcseanalízis egy korszerűsített változatát alkalmazza, és különösen a 63 μm -nél kisebb frakciók (iszap és agyag) vizsgálatára alkalmas. A vizsgálat során a 2 mm-es méret alá szétlőrt, 10 g-os tömegű, nátrium-pirofoszfát oldattal előkezelt talajmintát 1 literes ürtartalmú, csiszolatos záródugóval ellátott mérőhengerbe helyezük desztillált vízben (4. ábra). A berendezés ultrahangos érzékelője a szuszpenzió sűrűségét méri az idő függvényében, és automatikusan regisztrálja az ülepedési folyamat adatait. A mérés időtartama általában

12-24 óra, de az adatok már a kezdeti szakaszban is informatívak lehetnek, különösen az iszapos frakció esetében. A berendezéshez tartozó szoftver automatikusan kiértékeli az eredményeket, és meghatározza a különböző szemcseméret-frakciók százalékos arányát (agyag, finom- és durvaiszap), lehetővé téve a talajtextúra háromszög alapján történő besorolást (URL3). A Pario rendszeres laboratóriumi használat esetén jelentősen csökkenti az elemzéshez szükséges időt és emberi beavatkozást, valamint a hagyományos laboratóriumi eljárások eredményeivel összehasonlítva jól korreláló értéket ad, ugyanakkor kritikus fontosságú a minták megfelelő előkészítése (Xiaowei és társai 2024).



4. ábra. Pario mérőműszer mérésre kész állapota és mérési folyamata
Figure 4. Pario device in measurement-ready condition and performing measurement

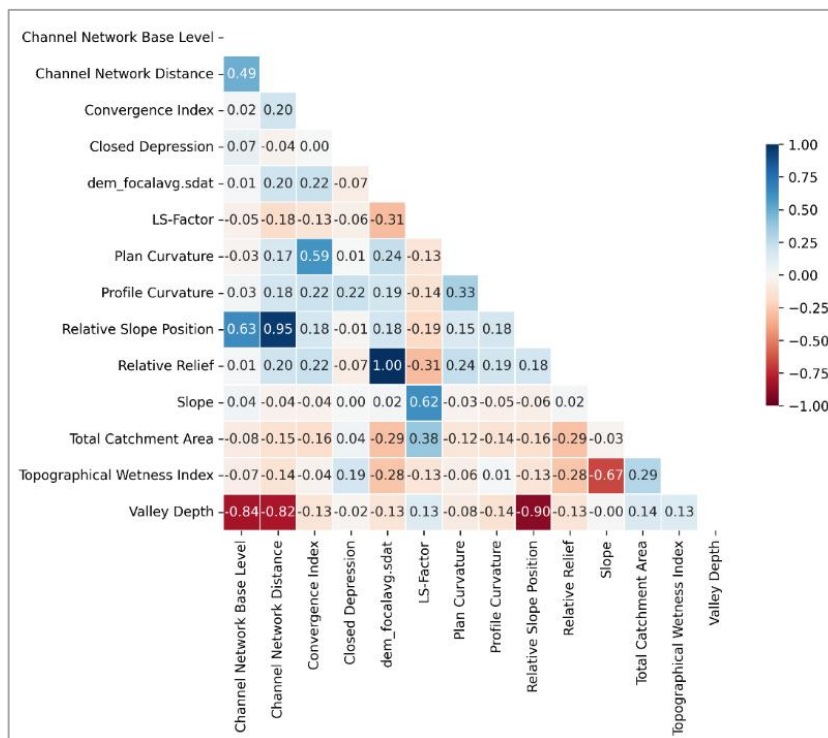
A digitális talajtérkép (DSM) két fő munkafolyamatra épül, amelyek együtt biztosítják a megbízható eredményt. Az első a terület geológiai, geomorfológiai és hidrológiai viszonyait nagy térbeli felbontásban leíró domborzatmodellből (DEM) származtatott indexek előállítására, a második pedig a terepi és laboratóriumi mérések adatbázisba rendezése és ezek térbeli kiterjesztése geostatistikai módszerekkel.

Az alaptérképcsoport a következő adatállományokat tartalmazza:

- lejtőmeredekség és 1 m-es szintközű szintvonalas térkép,
- talajnedvességi index (TWI – Mohamed 2020),
- üledékszállítási index (STI – Ennaji és társai 2022),
- mederteljesítmény-index (SPI – De Rosa és társai 2019),
- csatornahálózat-sűrűség (PDD – Dobos és Daroussin 2005),
- Hammond-féle domborzati osztályozás (upland–lowland) és lejtőgörbület térképe a konvergens és divergens összefolyások azonosításához (Karagull és társai 2017),
- a Kreybig-térképek digitális adatbázisa (Pásztor és társai 2010).

Ezek az adatok alapot biztosítanak a lejtőhordalék- és vízhatású, valamint a barna erdőtalaj-foltok vázlatos elkülönítéséhez. A következő lépésben komplexebb leválogatások történtek, amelyek során lehatárolhatóvá vált a patakmeder, illetve az egyes talajtípusok altípusai is. Ehhez szükséges volt a pontadatbázis fizikai-kémiai jellemzőinek bevonása, valamint a digitális és archív térképek alapján a terület tájhasználatának figyelembevétele. Ez különösen fontos azonos fűcsoportba tartozó, de eltérő mértékben erodált erdőtalajok esetében.

A digitális talajtérkép második fő munkafolyamata a pontadatbázis leíró és kiegészítő adataira (penetrométer, Sentek-nedvességsorok, Pario-textúra) épült. Ezek alapján a releváns talajadottságok, például a pórustér és a beszívargási sebesség térbeli kiterjesztését végeztük el. Ehhez felhasználtuk a Sentek szenzorok idősoros talajnedvesség-méréseit, valamint a legkisebb RMSE értékkel jellemzett leíró állományok vizsgálatát, amelyet a PyKriges keretrendszer biztosított (Deák és társai 2024). A pórustér és beszívargási sebesség térbeli kiterjesztéséhez olyan geomorfológiai (független) paraméterekre volt szükség, amelyek értékben összefüggést, korrelációt mutatnak a pontadatbázis változóival. A független változók optimális halmazát korrelációs elemzéssel (5. ábra) határoztuk meg és csak azok a geomorfológiai paraméterek kerültek kiválasztásra, amelyek korrelációs együtthatója egy meghatározott intervallumban (pl. $-0,3$ és $0,3$ között) volt (Deák és társai 2024).



5. ábra. A független változók meghatározását segítő korrelációs mátrix
Figure 5. Correlation matrix for the determination of independent variables

A független változók vizsgálata után a talajparaméterek térbeli kiterjesztéséhez szükséges statisztikai módszerek tesztelése és kiválasztása következett, ezek közül a regressziós krigelés eredményei (1. táblázat) bizonyultak a

legmegbízhatóbbnak. A módszer ötvözi a regressziós modell által biztosított értékbeli kiterjesztést a krigelés földrajzi távolságon alapuló súlyozásával, így megbízható becslést pixelértékeket szolgáltat (Deák és társai 2024).

1. táblázat. A regresszió krigelés eredményei a felszíni tulajdonságok kiterjesztéséhez
Table 1. Regression Kriging results for the spatial extension of surface properties

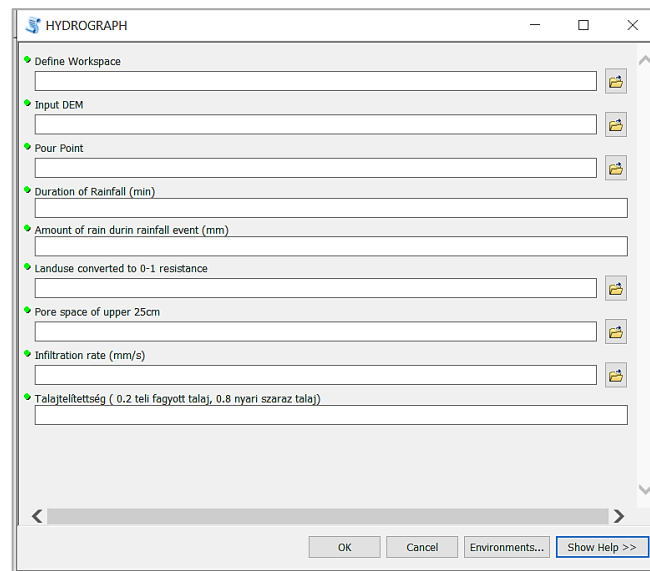
Mintaterület	Módszer	Nugget	Slope	Q1	Q2	cR
Kondó	Bayesian Ridge	7,90E-11	0,003109	0,751113	1,36504	0,006737
	K Neighbors	2,73E-05	1,60E-05	0,169131	1,66003	0,038423
	Lasso	2,39E-05	0,000845	0,191342	1,647436	0,036529
	Linear Regression	1,08E-15	0,002597	0,620728	1,521741	0,006273
	Random Forest	1,67E-06	0,001516	0,018576	1,343064	0,005655
	Ridge	2,10E-09	0,00354	0,800095	1,34005	0,007534

Az így létrehozott adatbázis és a kombinált állományok eredményeként egy komplex, többdimenziós réteg jött létre, amely jól tükrözi a talaj és a felszíni folyamatok kölcsönhatásait. A térképi állományok kezelhetősége érdekében a releváns részeket vektorizáltuk. Ez átfedéseket és szigetszerű területeket eredményezhetett, ezért az egységes megjelenítés érdekében összeolvasztást (dissolve) alkalmaztunk. Ennek eredményeként elkészültek a területről a digitális talajtérkép és az inputként szolgáló térinformatikai rétegek (pl. póruster, beszivárgási sebesség) a lefolyásmodellek számára.

Az ME-Hydrograph bemutatása

Az ME-Hydrograph nevű Python-alapú eszköz az ESRI Stowe Hydrology (URL4) modell alapján a Miskolci

Egyetem Földrajz–Geoinformatika Intézet munkatársai által került továbbfejlesztésre (6. ábra). Az új modell futtatásához nagy térbeli felbontású digitális domborzatmodell (pl.: 5 m DEM), a felhasználó által megadott kifolyási pont, valamint a csapadékintenzitás (mm/min) szükséges. További bemenet a felszínborítási réteg (10 m felbontású), amelyet jelen esetben a Sentinel-2B multispektrális műholdfelvételei alapján állítottunk elő a B2 (kék), B3 (zöld), B4 (vörös), B8 (közeli infravörös – NIR), valamint a 10 méteresre mintázott B5 (közeli VNIR) sáv felhasználásával. A modell további bemeneti adatai közé tartoznak a terepi mérésekből származó adatok, így a talaj felső 25 cm-es rétegének pórustere és beszivárgási sebessége (mm/s), valamint a felhasználó által megadható kezdeti talajtelítettség (Dobai és társai 2024).



6. ábra. Az ME-Hydrograph nyitófelülete
Figure 6. Opening site of ME-Hydrograph

A futtatás a kifolyási pont kijelölésével indul, amely alapján a program automatikusan elvégzi a vízgyűjtőre vonatkozó alapműveleteket, így a mélyedéshibák kitöltését (fill), a vízgyűjtőhatár kijelölését (watershed), valamint a lefolyási útvonalak meghatározását (flow accumulation). Ezt követően a modell a csapadék időbeli lefolyását szimulálja, figyelembe véve a talaj póruskapacitását, a beszivárgás sebességét, valamint a felszínborítástól függő lefolyási tényezőket. A különböző évszakokhoz kötődő víztelítettségi különbségekre a program egy felhasználó által megadott kezdeti értékkel reagál, így rugalmasan képes követni a szezonális hatásokat. A csapadék a felszínre érkezve először a talaj pórusteret telíti, amint a telítettség eléri a maximumot a csapadékvíz felszíni elfolyása is megindul. A felszíni áramlás sebességét a modell a felszínborításhoz kapcsolódó érdességi értékei alapján számítja ki, mivel a különböző fedettségi típusok – például erdők, gyepek, mezőgazdasági területek vagy beépített zónák – eltérő módon befolyásolják a víz mozgását (Chow 1959, Emery és társai 2021). A beszivárgás és vízbefogadás modellezésére a korábban bemutatott terepi mérések térbeli kiterjesztésén alapuló állományát használja fel. A tényleges beszivárgás kiszámításakor figyelembe veszi, hogy ha a beszivárgási sebesség nagyobb, mint a csapadék intenzitása, akkor csak az intenzitását tekinti mérvadónak, mivel a víz nem képes gyorsabban beszivárogni, mint ahogyan lehullik. Ellenkező esetben a tényleges beszivárgás megegyezik a talajra jellemző beszivárgási tényezővel. A vízbefogadó képesség értékét a modell egy telítettségi szorzóval módosítja, amely azt fejezi ki, hogy az adott pillanatban milyen mértékben vizet képes a talaj felvenni. A modell programozásának egyszerűsítése érdekében, azokat a területeket, ahol a talaj telítődése hosszabb ideig tart, mint a csapadék hullásának időtartama, a modell kizárja a további számításokból, mivel ezek a felszínek a teljes vízmennyiséget elnyelik, és nem járulnak hozzá a kifolyási pontra jutó felszíni lefolyáshoz. Ezt követően a módosított vízbefogadó képességet elosztja a tényleges beszivárgás értékével, így képes meghatározni, hogy a talaj egy adott ponton mennyi

idő alatt telítődik. A kapott telítési időt hozzáadja a felszíni lefolyási időhöz, így minden pixel esetében meg tudja határozni, hogy a csapadék megjelenésétől számítva mennyi idő szükséges ahhoz, hogy a víz elérje a kifolyási pontot. Az összesített lefolyási idő térbeli megjelenítéséhez az eredményeket 10 perces időintervallumokba sorolja. A 10 perces sávokból előállított izokron térkép azt szemlélteti, hogy az eső kezdete után mely időablakban hány terület egységből érkezik víz a kifolyási pontra. A térképek attribútumtáblájában a modell összeszámolja az egyes időintervallumokhoz tartozó pixeleket, majd azok számát megszorozza a pixelmérettel, így négyzetméterben is kifejezhetővé válnak a részterületek (URL4). Mivel a csapadék mennyisége milliméterben adott, a modell az egyes időintervallumokhoz tartozó vízmennyiséget az intenzitás (mm/s) és a terület szorzataként liter/másodpercben fejezi ki, ezek m^3/s értékre konvertálhatók. Az így kapott értékekből lefolyási görbéket, úgynevezett hidrográfokat készíthet, amelyek megmutatják, hogyan változik a kifolyási ponton áthaladó vízmennyiség az idő függvényében. Amennyiben az esőzés hosszan tart, a modell a távolabbi területekről lassabban érkező vízmennyiséget folyamatosan hozzáadja a már megérkezett lefolyáshoz, miközben a kifolyási pontról időben távozó vizet levonja, így dinamikusan képes követni a lefolyási folyamatokat az esőzés alatt és azt követően is (Dobai és társai 2024). A modell eredetileg városi csapadékvíz-elvezető rendszerek terhelési vizsgálatára került fejlesztésre és tesztelésre, jelen kutatásban pedig kisvízgyűjtőkön levonuló árhullámok vízhozamának meghatározására alkalmazzuk. A vizsgálatához a villámárvizek kialakulásához szükséges minimum tartományt adtuk meg, amely a digitalizált radarkép alapján egy órán belül 35 mm/h körüli csapadékinintenzitást jelentett (Luong és társai 2021, Dobai és társai 2024). A területen 24 h alatt mért legtöbb csapadék 94 mm volt a vizsgált vízgyűjtőtől nyugatra, Varbó település területén (ACQUIS 2020). Az eddig tapasztalt csapadékok esetében felhívjuk a témában kutatók figyelmét olyan hivatalos és nem hivatalos forrásokra, mint a gátőrök, mederőrök által jegyzett

és a vízügyi igazgatóságok felé közölt csapadék adatok, valamint a vis maior jegyzőkönyvekben szereplő, helyi, illetve nem hivatalos csapadékmérők jelentései.

A HEC-HMS bemutatása

A HEC-HMS szoftver (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) egy széles körben alkalmazott hidrológiai modellező rendszer, amelyet az amerikai hadsereg mérnöki hadtestének hidrológiai mérnöki központja (USACE HEC) fejlesztett ki a csapadék-lefolyás folyamatainak szimulálására (URL2). Sokoldalúságának köszönhetően ma már nemcsak klasszikus vízgyűjtőmodellezési feladatokra, hanem egyre szélesebb körű kutatásokban is alkalmazzák, például távérzékelési adatok integrációjára. A program gyakran más térinformatikai szoftverek (ArcGIS–HEC–GeoHMS) kiegészítőjeként is implementálható. Általánosan megállapítható, hogy a HEC-HMS különösen jól működik a félig osztott és osztott vízgyűjtőmodellezési megközelítésekben (Sahu és társai 2020). A rendszer célja, hogy különböző meteorológiai eseményekre adott válaszként modellezze a vízgyűjtők hidrológiai viselkedését, beleértve a csapadék begyűjtését, a beszivárgást, a felszíni elfolyást és a folyóvizek mederbeli lefolyását. Moduláris felépítése lehetővé teszi különböző vízgyűjtők és vízrendszerek tetszőleges összetételű, időben változó elemzését, akár eseményalapú, akár folyamatos szimulációs módban. A modell képes integrálni különböző csapadék-eloszlási modelleket, tározókat, vízelvezető hálózatokat és a talaj-víz kölcsönhatásokat is, így alkalmas árvízszimulációra, vízgazdálkodási vizsgálatokra, illetve városi és természetes vízgyűjtők elemzésére egyaránt (Feldman 2000). A HEC-HMS megbízhatóságát és rugalmasságát széleskörű nemzetközi alkalmazás és rendszeres frissítések biztosítják.

Jelen kutatásban az Egyesült Államok Talajvédelmi Szolgálata által kifejlesztett (Soil Conservation Service Curve Number – SCS CN), valamint a bővebb paraméterezést biztosító Green & Ampt-módszert alkalmaztuk ugyanazon vizsgálati területeken és csapadékeseményeken, mivel ez a két eljárás bizonyítottan alkalmas ilyen jellegű vizsgálatokra (Ámon és társai 2024). A CN-módszer empirikus alapokon nyugvó megközelítés, amely a lefolyás mértékét a talajtípus, a felszínborítás és a talajnedvesség állapota alapján határozza meg, leegyszerűsített módon becsülve a beszivárgás és vízvisszatartás lehetőségeit. Ezzel szemben a Green & Ampt módszer egy fizikai alapú beszivárgási modell, amely a telítetlen talaj vízvezető képességét és szívóerejét figyelembe véve írja le a víz bejutását a talajba, ezáltal részletesebb és dinamikusabb képet

nyújt a talaj-víz kölcsönhatások időbeli alakulásáról. Mindkét modell esetében figyelembe kell venni a szabályozott rendszer keretei adta korlátokat, amelyek főleg mezőgazdaságban érintett területeken nem adják vissza megfelelően a valós hidrológiai viselkedést (Wilcox és társai 1990, Ficklin és Zhang 2013). Az összevetés célja az volt, hogy értékeljük az egyes modelleket és teszteljük, hogy mennyiben térnek el a lefolyási számítások az ME-Hydrograph modellhez képest.

EREDMÉNYEK

A talajmintavételezés és kiegészítő háttér adatok eredményeinek bemutatása

A terepi és labor eredményeket a 7-9. ábrák tartalmazzák, amelyek alapján részletes jellemzést kaphatunk a terület jellemző talajairól. A Cseres-völgy domináns talaja az agyagbemosódásos barna erdőtalaj, azon belül is annak pszeudoglejes altípusa, erősen erodált formában (7. ábra). A talajszelvény genetikai horizontjai jól elkülönülnek: az A és E szintek felett az agyagbemosódásos Bt szintek Fe és Mn-kiválásokkal, valamint agyaghártyákkal utalnak a kilúgzási és felhalmozódási folyamatokra. A szelvény textúrája a felszíni homokos vályogtól (HV) fokozatosan halad a vályog (VH) és agyagos vályog (AV) irányába, míg a mélyebb rétegekben már agyagos (A) jellemző. A tömördőtség közepes fokú a középső szinteken, amely szintén a vízmozgás akadályozottságára utal. A pangóvízfoltok és az agyaghártyák együttesen jelzik a pszeudoglejesedés jelenlétét, míg a gyökérzet jelenléte – főként hajszálgyökök 60 cm mélységig – mérsékelt gyökérhatással bíró rétegeket feltételez. A talaj szerkezete a felszíntől a középső szintekig tömödött, ami a vízbefogadó képességet és a lefolyás alakulását is befolyásolja. A laboratóriumi vizsgálati eredmények (2. táblázat), tovább pontosítják a szelvény fizikai és kémiai jellemzőit, különösen a középső és alsó genetikai szintekre vonatkozóan. Az 5-70 cm-es mélységtartományban mért értékek alapján a talaj mechanikai összetétele agyag irányába tolódik el, amit a <0,002 mm frakció növekvő aránya is alátámaszt, ezzel megerősítve a genetikai típus besorolását. Ez a frakcióösszetétel vízvezetési és vízraktározási szempontból egyaránt kedvezőtlen, mivel a finom szemcseméret lassú vízmozgást és erősen változó nedvességtartalmat eredményez, különösen a lejtős, pangóvízes térszínen. Szervesanyag-tartalma alacsony, ez egyrészt a kilúgozásnak, másrészt az ezzel összefüggő, szerkezetstabilitást adó karbonáttartalom hiányának köszönhető, jellemző területei a főtípusnak megfelelően a T-5, 7, 8, 11, erodált altípusai a T-3,4,9 szelvények (3. ábra). Tulajdonságai alapján megfelel a Luvisol típusnak (Michéli és társai 2024).

	Talajtípus	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj (ABET) - pszeudoglejes				
	Pozíció	lejtő oldal, rét, legelő 15° lejtés, EOY: 767694, 316869				
	Genetikai szint	O	A	E	B t g	B t h
	Mélység (cm)	0-5	5-15	15-25	25-40	40-80
	Szín	10 YR 3/4	10 YR 3/4	10 YR 4/4	10 YR 4/6	-
	Szerkezet	tömődött	ua.	ua.	-	-
	Textúra	H	VH	VH	AV	A
	Tömődöttség	-	-	közepes	közepes	-
	Hártyák	-	-		agyag h.	agyag h.
	Kiválások	gyenge szerv a.	-	-	Fe, Mn	Mn
	Vízhatás	-	pangóvíz folt	-	pangóvíz folt	-
	Gyökérzet	hajsza gy.	fás gyök.	-	-	60 cm hajsza gy.

7. ábra. A T-3 jelű szelvényt leíró terepi jegyzőkönyv

Figure 7. Field report of soil profile T-3

2. táblázat. A T-3 jelű szelvény laboratóriumi adatai

Table 2. Laboratory analysis results for soil profile T-3

Szint mélység (cm)	K _A	Össz. só (m/m% sz.a)	Humusz (m/m% sz.a)	Szén-sav-as mész (m/m% sz.a)	pH (H ₂ O) (pH egység)	Szemeloszlás						
						> 0,25 mm	0,25-0,05 mm	0,05-0,02 mm	0,02-0,01 mm	0,01-0,005 mm	0,005-0,002 mm	< 0,002 mm
5-25	36	< 0,02	1,4	< 0,2	5,2	7,8	36,8	12,5	9,9	7,0	7,1	19,0
25-50	38	< 0,02	0,6	< 0,2	5,2	5,2	27,7	13,5	6,8	7,9	4,3	34,7
50-70	40	< 0,02	0,4	< 0,2	5,4	23,8	23,8	11,2	8,8	8,1	5,5	38,7

A villámárvízi jelenség felszíni viszonyaira ez a talaj-típus lehet a legnagyobb hatással, illetve annak vízhatással összefüggő mechanikai tulajdonsága, ezt jól szemlélteti a mintavételezés és beáztatási vizsgálat tapasztalatai (Dobai és Dobos 2023). A szelvény kiásásakor a munkát könnyítendő kis mennyiségű, majd a beszívargási körülmények értelmezéséhez nagyobb mennyiségű (10-12 l) vizet öntöttünk a szelvénybe, majd követtük a beszívargást (kb. 1 óra). Tulajdonképpen arra voltunk kíváncsiak, hogy kerektek nélkül, milyen beszívargási irányok figyelhetők meg. Azonban azt az eredményt tapasztaltuk, hogy sem beszi-

várgás, sem oldalirányú elszívargás nem történt, több mint egy óra elteltével sem. A szelvény főfalánál a friss felületen történt törés során pár mm-es nedvesedést tapasztaltunk (8. ábra). Ez a gyakorlati tapasztalat alapvető fontosságúvá vált a vizsgálat szempontjából a vízgyűjtőn belüli talajokra, valamint a textúra váltási szint (Bt) mélységéig erodálódott barna erdőtalajokkal kapcsolatban. A villámárvizek vizsgálata szempontjából az ilyen jellegű erdőtalajok esetében az 'erdő' megnevezés inkább formális kategóriaként, semmint a fogalomhoz társított jelentéstartalomként értelmezendő.



8. ábra. Az erodált ABET talaj altípusra jellemző beszivárgási viszonyok
Figure 8. Infiltration conditions of eroded brown-forest soil subtype

A következő jellemző talajtípus esetében szintén fontos szerepe van a felszíni és oldalirányú vízmozgásnak. A T-1 jelű szelvény egy pszeudoglejes jellegű

lejtőhordalék talaj (9. ábra), amely a lejtő alján helyezkedik el, mérsékelt dőlésszögű területen, gyümölcsös művelés alatt.

Talajtípus	Lejtőhordalék talaj - pszeudoglejes				
	Pozíció				
Genetikai szint	A	B	B t	B g	C
Mélység (cm)	0-20	20-40	40-70	70-90	90-110
Szín	10 YR 3/1	-	-	-	-
Szerkezet	hasábos	ua.	aprószemcsés	ua.	-
Textúra	HV	V	AV	AV	A
Tömődöttség	erős	erős	erős	-	erős
Hártyák	humusz h. (h.h), agyag h. (a.h)	a.h	a.h	h. h.	-
Kiválások	Fe, Mn	Fe, Mn	Fe, Mn	Fe, Mn	Mn
Vízhatás	pangó	stagnál	növekvő	ua.	ua.
Gyökérzet	sűrű hajsza gy(hgy)	alap h.gy.	h.gy repedések mentén	h.gy szerkezeten belül	ua.

9. ábra. A T-1 jelű szelvényt leíró terepi jegyzőkönyv
Figure 9. Field report of soil profile T-1

A genetikai szintek jól elkülönülnek egymástól, a szelvény teljes mélysége eléri a 110 cm-t, amelyet végig kísér a jól fejlett gyökér- és hajsza gyökér-hálózat, amelyek kedvezőbb beszivárgási feltételeket biztosíthatnak. Az A szint sötét színe (10YR 3/1) magas szervesanyag-tartalomra és jó humifikációs viszonyokra utal, amit a 2,1 m/m% humusztartalom is megerősít (3. táblázat). A szelvényen belül a szerkezet a felső szintekben hasábos, majd finomszemcséssé válik, amely a szerkezeti átalakulásokat és az aggregátumstabilitás csökkenését tükrözi a mélységgel. A textúra a felszíni szintek vályogosabb jel-

lege felől az alsóbb, agyagosabb irányba változik, ami jól illeszkedik a talajképződés során kialakuló vándorlás-felhalmózódás folyamataihoz. A finomfrakció (<0,002 mm) aránya a mélységgel jelentősen növekszik, az alsó C szintben eléri az 51,5%-ot, ami az agyagfelhalmózódás (Bt szint) és az illuviációs folyamatok hatására bekövetkező mechanikai, frakció differenciálódás eredménye. A talaj kompaktsága minden szinten jelentős, különösen az A és B szintekben, ami rontja a víz- és levegőforgalmat, és elősegíti a pangóvízes viszonyok kialakulását. A Fe és Mn kiválások, valamint a vízhatásra utaló glejesedés (Bg

szint) a redukzív környezet és az időszakos víztelítettség indikátorai. Ezek különösen az alsóbb szintekben erőteljesek, ami alátámasztja a gyenge vízelvezetést és a stagnáló víz okozta hidromorf hatások jelenlétét. A pszeudoglejes jegyek és az illuviális agyagfelhalmozódás együttesen egyértelműen egy olyan fejlődési irányt jeleznek, amelyben a vízmozgások és a topográfiai pozíció alapve-

tően meghatározzák a talajfejlődést és az aktuális állapotot. Jellemző szelvénye a T-1 (3. ábra), azonban kedvező lejtés és csekélyebb eróziós hatásnak kitett területen végig kísérheti a lejtőaljon a barna erdőtalajokat, jelen területen ez csak a lankásabb nyugati területeken jellemző. Tulajdonságai alapján megfelel a Colluvic Regosol típusnak (Michéli és társai 2024).

3. táblázat. A T-1 jelű szelvény laboratóriumi adatai
Table 3. Laboratory analysis results for soil profile T-1

Szint mélység (cm)	K _A	Össz.só (m/m% sz.a)	Humusz (m/m% sz.a)	Szén-savas mész (m/m% sz.a)	pH (H ₂ O) pH egység	Szemeloszlás						
						> 0,25 mm	0,25-0,05 mm	0,05-0,02 mm	0,02-0,01 mm	0,01-0,005 mm	0,005-0,002 mm	< 0,002 mm
5-25	45	0,02	2,1	< 0,2	6,2	8,0	23,8	11,9	9,2	6,4	6,9	33,8
40-70	43	< 0,02	1,6	< 0,2	6,5	3,4	20,2	17,8	10,0	9,8	6,8	32,1
90-110	54	< 0,02	0,7	< 0,2	7,4	1,7	14,4	11,9	11,9	4,9	4,9	51,5

A terület harmadik jellemző talajtípusa az öntés réti talaj (10. ábra), amely egy antropogén eredetű hordalékkúpon, a völgytalp legmélyebb részén helyezkedik el. A természetes

eróziós és akkumulációs folyamatokat jelentős mértékben módosította az emberi tevékenység, a terület jelenleg is művelés alatt áll, amely okán jelentős a szerkezet tömődése.



Talajtípus	Öntés réti talaj - antropogén hordalékkúpon				
Pozíció	völgytalp, 0-2° lejtés, szántó, EOV: 768122, 317230				
Genetikai szint	A sz	A	B t	2A	2 A a
Mélység (cm)	0-30	30-50	50-70	70-100	100-
Szín	10 YR 3/2	-	-	-	-
Szerkezet	szerkezet nélküli	szemcsés	ua.	morzsás	hasábos
Textúra	V	AV	AV	V	V
Tömődöttség	erős	gyenge	erős	-	-
Hártyák	humusz h.	humusz h.	humusz h.	humusz és agyag h.	-
Kiválások	Fe, Mn	-	Fe, Mn	Fe	-
Vízhatás	erős pangóvíz	pangóvíz folt.	-	-	-
Gyökérzet	sűrű hajszál gy. (h.gy)	gyökér zóna	csekély gy.	hajszál gy. hálózata	csekély gy.

10. ábra. A T-2 jelű szelvényt leíró terepi jegyzőkönyv
Figure 10. Field report of soil profile T-2

A genetikai szintek közötti átmenetek elmosódottak, ami a rendszeres bolygatás, feltöltés és keveredés következménye. Ennek ellenére jól megfigyelhetők egyes talajfejlődési folyamatok, így például a humuszfelhalmozódás a felső 30 cm-es rétegben, amely erőteljes színezettség (10YR 3/2) és relatíve magas humusztartalommal (1,4 m/m%) párosul (4. táblázat). A textúra a teljes szelvényen vályogos, enyhén változó finomságú, azonban a mélyebb rétegekben az agyagfrakció (>39% <0,002 mm) koncentrációja fokozatosan növekszik, ami részben az öntésanyag

természetére, részben pedig az illuviációs folyamatok jelenlétére utal. A kiválások, különösen a vas- és mangánformák, valamint a pangó vízre utaló glejesedés elsősorban a felső és középső szintekben figyelhetők meg, jelezve a periódikusan vízzel telített, levegőtlen állapotokat. A humuszos és agyagos hárták megjelenése a mélyebb szintekben arra utal, hogy a talajképződés során az emberi eredetű rétegek is átestek természetes pedológiai folyamatokon. A tömődöttség nem egyenletes a szelvényen belül: míg a felszín közelében erős, addig az altalaj egyes szintjeiben

gyengébb, ami a változó fizikai behatásokkal, talajműveléssel, illetve a különböző időpontban történt elöntésekkel magyarázható. A gyökérzet eloszlása a szelvényen belül

egyenetlen, a felső 50 cm-ben domináns, alatta fokozatosan csökken, és elsősorban hajszálgyökér-hálózat formájában van jelen.

4. táblázat. A T-2 jelű szelvény laboratóriumi adatai
Table 4. Laboratory analysis results for soil profile T-2

Sínt mélység (cm)	K _A	Össz. só (m/m% sz.a)	Humusz (m/m% sz.a)	Szén-savas mész (m/m% sz.a)	pH (H ₂ O) pH egység	Szemeloszlás						
						> 0,25 mm	0,25-0,05 mm	0,05-0,02 mm	0,02-0,01 mm	0,01-0,005 mm	0,005-0,002 mm	< 0,002 mm
0-30	43	0,03	1,4	< 0,2	-	2,4	28,6	13,6	8,8	7,2	5,7	33,6
30-50	48	0,03	0,7	< 0,2	-	1,2	20,0	16,4	9,5	7,9	5,7	39,2
50-70	48	0,03	0,5	< 0,2	-	1,6	26,3	12,4	8,4	6,3	6,0	39,0
70-110	48	0,04	0,5	< 0,2	6,0	2,6	27,6	10,1	8,1	6,2	5,8	39,6

A szelvény jellemzően a Harica, valamint a Cseres völgyből érkező árhullámok területi zónáiban fordulnak elő, tipikus szelvénye a T-2 jelű (3. ábra), amely további érdekessége, hogy a teljes szelvényben jelen vannak bronzkori és egyéb tárgyak (Palicz és Makkay 1978), innen kapta az antropogén jelzőt is (11. ábra). Tulajdonságai alapján megfelel a Fluvis-Gleysol típusnak (Michéli és társai 2024).

A területet jellemző talajok beszivárgás-vizsgálatainak eredményeit a 5. táblázat tartalmazza. A legmagasabb átlagos beszivárgási sebességet a lejtőhordalék talaj pszeudoglejes változata mutatta (0,24 mm/h). A mintaterület többi talajához képest kedvezőbb eredményt a talajszelvényben nyomon követhető makropórus-hálózat, a terepen mért kezdeti nedvességtartalom (24,9%), valamint a mélyen, jól fejlett gyökérhálózat magyarázza, amely a jó vízátvezető képességre utalhat. Ugyanakkor a szelvényben feltárt fokozatos agyagfrakció-növekedés, valamint a hidromorfológiai jegyek (glejfoltt, vas- és mangánkiválások) a vízmozgás korlátozására és a tartósabb telítettségére utalnak, így a kedvező vízátvezető tulajdonság szezonális jellegűnek tekinthető. Ezzel szemben az antropogén eredetű öntés réti talajon lényegesen alacsonyabb értékeket mértek (0,05 réti talajon) beszivárgás csak 96 perc alatt fejeződött be, ami lassú vízmozgásra és tömörödött, finomszemcsés szerkezetre utal, amely a szántott réteg (Asz) alján kialakult eketalpnak köszönhető. Az agyagbemosódásos barna erdőtalajok esetében a beszivárgási folyamat jellemzően az

első 5 percben csökkent, a 19. perc után jelentősen lelassult, vagy kvázi megszűnt, az erodált felszínek esetében ez még hatványozottabban jelentkezett. A vizsgálatok eredményei egyezik a térségben történt felmérések eredményeivel (Dobai és társai 2024).



11. ábra. A T-2 jelű szelvényből előkerült paleolitik kerámia töredékek

Figure 11. Paleolithic pottery fragments recovered from the T-2 profile

5. táblázat. A terepi beszivárgás vizsgálatok eredményei
Table 5. Results of the field infiltration tests

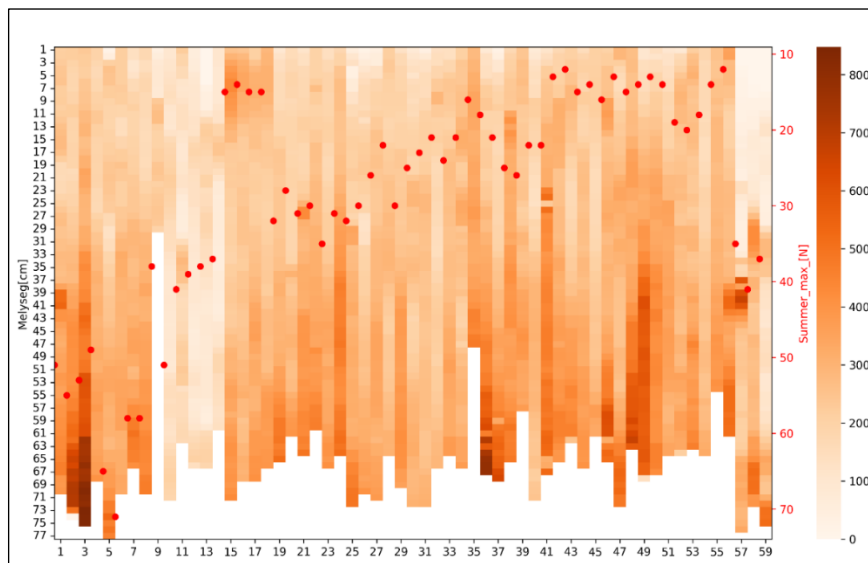
ID	Talajtípus	EOV X, Y	K (átlag) mm/h	K (MAX) mm/h	Megjegyzés
1	Lejtőhordalék talaj - pszeudoglejes	766 891, 316 404	0,24	0,50	A teljes beszivárgás megtörtént
2	Öntés réti talaj - antropogén hordalékkúpon	768 122, 317 230	0,05	0,17	A teljes beszivárgás 96 min volt
4	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj - pszeudoglejes	767 694, 316 869	0,15	0,17	19 min után jelentősen csökkent, kvázi megszűnt a beszivárgás
6	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj - pszeudoglejes	767 689, 316 708	0,11	0,18	19 min után jelentősen csökkent, kvázi megszűnt a beszivárgás
8	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj	767 272, 316 339	0,18	0,23	A teljes beszivárgás megtörtént

A mért beszívargási sebességek és a talajok fizikai tulajdonságai közötti összefüggések jól mutatják, hogy a vilámárvizek kialakulásának térbeli mintázata szorosan összefügg a talaj szerkezetével és telítettségi viszonyaival. Ez az eredmény megerősíti, hogy a helyi hidrológiai modellezésben a talajtípusok részletes térbeli paraméterezése elengedhetetlen.

A talajellenállás mérés eredményeinek bemutatása

A penetrométeres vizsgálatok lehetőséget nyújtanak a mintaterületen előforduló talajtípusok elkülönítésére (12. ábra), valamint további információval szolgálnak a talaj-térkép pontosításához és a tömödöttség viszonyok értel-

mezéséhez. A 12. ábra x_1 tengelyén a mérési pontok azonosítószámai szerepelnek. A Penetronik műszer GPS-jeladóval rendelkezik, így az SD-kártyán rögzített koordináták alapján a mérések a terepen pontosan megismételhetők. Az y_1 tengely a műszer által elért maximális talajmélységet (cm) ábrázolja, míg a színskála az adott mélység eléréséhez szükséges erőt (N) mutatja, amely az y_2 tengely skálázott értékeiről is leolvasható. Az ábrán a téli mérések eredmények kerültek bemutatásra, színezett formában. Ennek oka, hogy a téli időszakban a kellően átnedvesedett talajban a tömödöttségbeli különbségek markánsabban ki-rajzolódnak. A nyári mérések során elért maximális mélységeket a piros pontok jelölik.

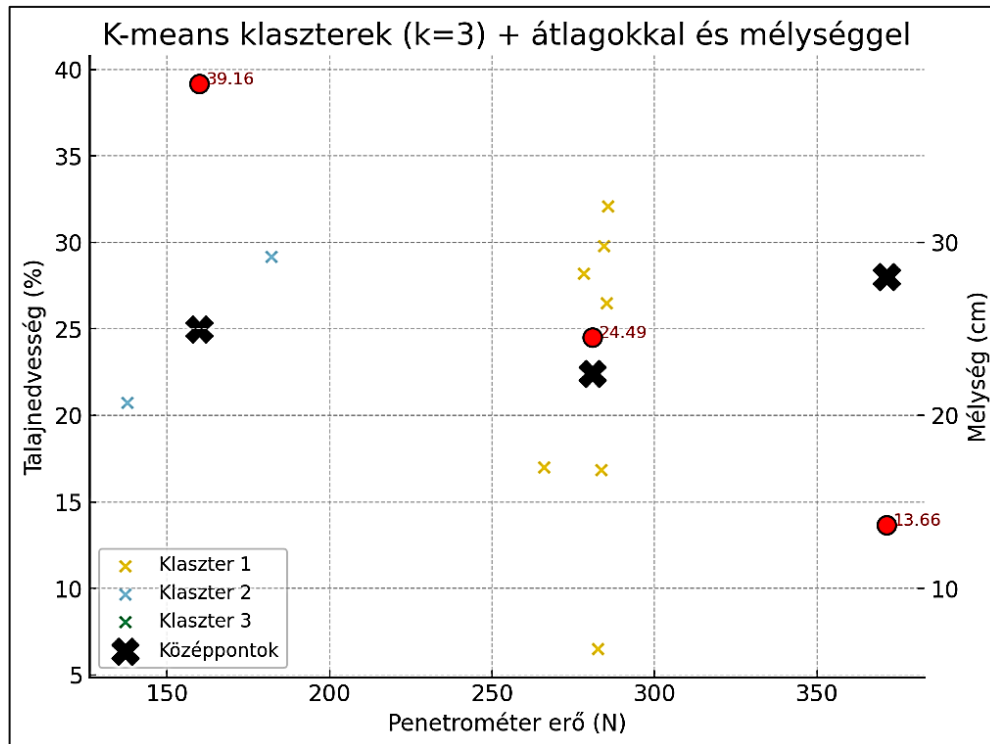


12. ábra. A talajok mechanikai ellenállásának (N) vertikális eloszlása a mélység (cm) függvényében, a nyári (piros pontok) és téli (színskála) mérések alapján

Figure. 12. Vertical distribution of soil penetration resistance (N) across depth (cm), based on summer (red dots) and winter (color-scale) measurements

A vizsgálatok eredményei alapján több talajcsoport különíthető el, amelyek tovább gazdagítják a mintaterületen előforduló talajtípusok térbeli változatosságának értelmezését, különös tekintettel az agyagbemosódásos barna erdőtalaj (ABET) altípusaira. Az 1–8. mérési pontokon öntés réti talaj, aktív szántóföldi művelés alatt álló terület található, amelyben eketalpréteg is kimutatható. A 9–14. pontok nyers öntéstalajhoz köthetők, eltérő textúrákkal. A 15–18., valamint a 44–48. pontok erősen erodált pszeudoglejes agyagbemosódásos barna erdőtalajokat (ABET) jeleznek, míg a 19–26. pontok öntésanyaggal fedett ABET-re utalnak. A 27–43. pontokon kevésbé erodált pszeudoglejes ABET található, fiatal erdőborítással. A 49–51. pontokon lejtőhordalék talaj azonosítható, közepesen erodált felső talajszinttel, a 52–54. pontokon kevésbé erodált, homokban gazdagabb ABET, míg az 55–56. pontokon erősen erodált pszeudoglejes ABET fordul elő. A 57–59. pontok a patakmeder és annak közvetlen környezetét reprezentálják. Tehát döntően a

barna erdőtalajok és alvázotatai dominálnak a területen. A csoportképzés feltételezései statisztikailag is alátámasztható a K-közép módszerrel (Blömer és társai 2016). A klaszteranalízis során a fentebb meghatározott csoportok erő- és talajnedvesség-adatainak átlagai szolgáltattak alapként (13. ábra). Az ábrán a nyári átlagmélységek értékét piros ponttal jelöltük. Az eredmények alapján az egyes klaszterek jól elkülönülnek egymástól. Az első klaszterbe a patakmeder közelében, illetve a nyers öntéstalajokon végzett mérések tartoznak, amelyek közös jellemzője a lazább textúra és a nyári időszakban elért nagyobb behatolási mélység. A második klaszter a barna erdőtalajok különböző altípusait foglalja magában, kivételt képez a csoport legrosszabb értékeit tartalmazó (282,6 N, 6,4 t. nedv %) öntés réti talaj, amely a szántón megjelenő eketalppal magyarázható. A harmadik klaszter az önállóan elkülönülő lejtőhordalék talaj, amely erős tömödöttsége miatt mind a legnagyobb ellenállást, mind pedig a legkisebb nyári mélységet képviseli.



13. ábra. A k-közép klaszter analízis eredménye

Figure. 13. Results of the k-means cluster analysis

A penetrométeres mérés önmagában nem helyettesítheti a talajszelvény feltárását, valamint laboratóriumi célú mintázását, azonban nagyban hozzájárul a kérdéses területek talajszerkezet és nedvességi állapotnak felméréséhez. A szántóföldi területeken kevésbé mutatkozik meg ez a szintű változatosság, azonban a tárgyalt mintaterületen a helytelen agrotechnológia (szántott és taposási károkkal terhelt felső 30 cm) és tájhasználat okozta hatások jól mutatkoznak a felmérés eredményein. Ezek a beszívárgást gátló tulajdonságok a mért talajnedvesség értékeken is visszaköszönnek.

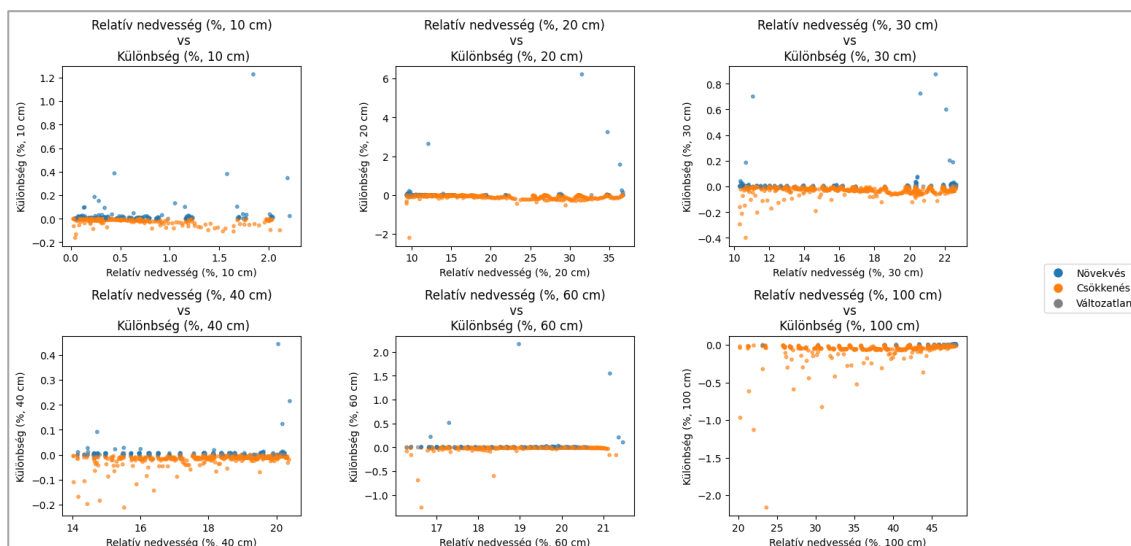
A Sentek talajnedvesség mérés eredményeinek bemutatása

A talajnedvesség adatok és értelmezésük kiemelten fontos nem csak az agrónia területén, hanem a villámárvizek vizsgálata esetében is, ezért 2022-ben kihelyezésre került 4 db Sentek talajnedvességszenzor a mintaterületre egy viharesemény valós időben való rögzítésének reményében. A szenzor 10 centiméterenként (10, 20, 30, 60 és 100 cm) talajnedvességet, a felső 10 cm-en pedig hőmérsékletet, valamint páratartalmat is mér (Kibirige és Dobos 2021). Energiatakarékossági szempontokat figyelembe véve a nyári időszakban félórás, valamint órás, a téli időszakon kétórás mérés eredmények kerültek rögzítésre.

Jelen kutatásban a talajellenállás-mérés eredményeinek alátámasztásához, a két legrosszabb értéket (magas

talaj ellenállás, alacsony talajnedvesség) adó, lejtőhordalék (S-13), valamint az öntés réti talajnál kihelyezett talajnedvesség mérő (S-20) értékeit mutatjuk be a 2022. évi nyári időszakra vonatkozóan (14-15. ábra). Az ábrák szórásdiagrammok formájában mutatják be a relatív talajnedvesség értékeit, azok változásait, valamint a kimutatható trendek irányát. Általánosságban megállapítható, hogy a felszíni, 10 cm-es rétegben mutatkoznak a legnagyobb ingadozások, ahol a pozitív trendek aránya és szórása magas, ami a csapadékesemények gyors és intenzív hatását tükrözi. A mélység növekedésével a változékonyság, valamint a felszíni lefolyással való kapcsolat fokozatosan mérséklődik.

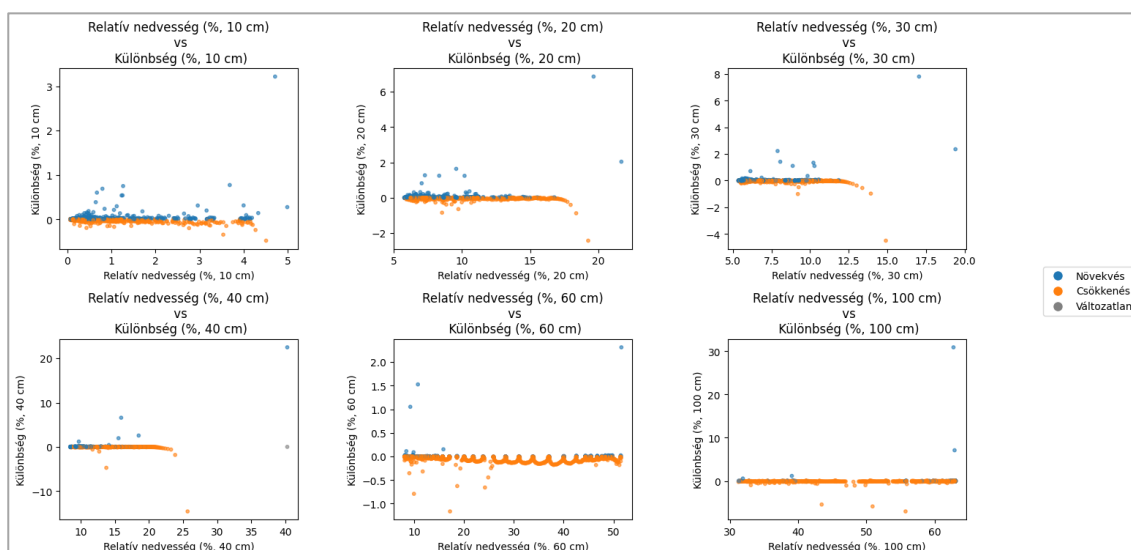
Az S-13 adatai (14. ábra) a pszeudoglejes lejtőhordalék talaj nedvességváltozásai a felső 30 cm eredményei alapján viszonylag szűk tartományban mozognak, ez arra utal, hogy a talaj mikropórusai nem megfelelő állapotban vannak a felszíni víz elvezetéséhez, szerkezete tömődött. A makropórusok hiánya vagy beszűkülése korlátozza a víz mélyebb infiltrációját és elősegíti a felszínközeli gyors vízmozgásokat. A középső rétegekben még kimutathatók növekvő trendek, de ezek aránya csökken, szórásuk pedig kisebb lesz, míg a 60–100 cm közötti zónákban már egyértelműen a negatív trendek dominálnak, és a relatív nedvességváltozások is ehhez igazodnak.



14. ábra. A Sensor-13 relatív nedvesség, szórás diagramja a 2022.06.07-08.17 időszakon belül
 Figure 14. Soil moisture diagram of Sensor-13 during the period from 07.06.2022. to 17.08

Az S-20 (15. ábra) által mért eredmények az öntés réti talaj viselkedését tükrözik, amely a völgytalp legmélyebb részén, emberi bolygatásban érintett. A felső, humuszban gazdag rétegekben a nedvességváltozások kiugróak, a

gyors nedvességnövekedés egyértelműen a felszín közelében érvényesül. Ez a jelenség a mezőgazdasági művelés következménye, amely korlátozza a beszivárgást és elősegíti a gyors telítődést.



15. ábra. Az S-20 relatív nedvesség, szórás diagramja a 2022.06.07-07.14 időszakon belül
 Figure 15. Soil moisture diagram of Sensor-20 during the period from 07.06.2022 to 14.07

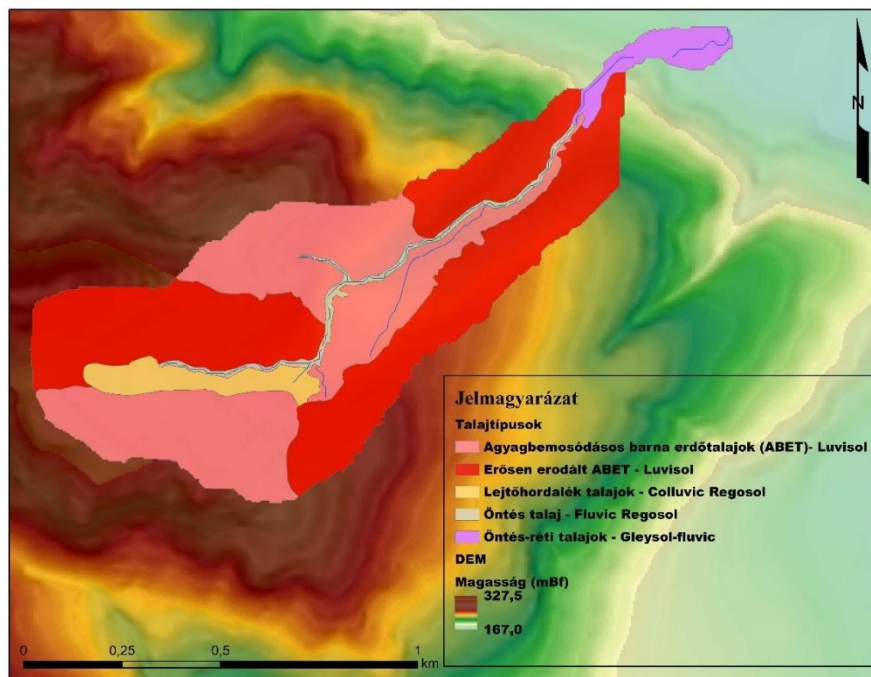
Az előző példához hasonlóan a mélység növekedésével a pozitív trendű mérések egyre csökkennek. A kutatás szempontjából ezek azért fontos eredmények, mivel az öntés talaj felső rétegeinek homokos vályog, vályog textúrája, valamint a lejtőhordalék talaj gyökér- és repedéshálózata nem indokolja a mélyebb rétegekbe irányuló, kedvezőtlen vízelvezetési tulajdonságokat. A két talajra vonatkozó 0-30 cm-es rétegből származó talajminták térfogat tömege (141,88 valamint 150,20 g/100 cm³), valamint talajpórus értékei (46,46 valamint 43,32 cm³/100 cm³) is alátámasztják a talajjellenállás mérés eredményeit. A rendelkezésre álló adatok egyértelműen alátámasztják, hogy a két elméletileg jó vízelvezetésű talajtípus valós viselkedése az árhullám kockázatát növeli.

A digitális talajtérkép bemutatása

A terepi és laboratóriumi, valamint a kiegészítő vizsgálatok mért adatok adatbázisának raszteres és vektoros feldolgozása után létrejött a Cseres-völgy digitális talajtérképe (16. ábra). A térképen markánsan kirajzolódik a barna erdőtalajok két típusának területi elkülönülése, amely szoros összefüggésben áll a felszínborítottsággal és a domborzati viszonyokkal. A vegetáció, különösen az erdőborítottság, valamint a nyugati kiettséggű oldalakon mérhető kisebb lejtésszögek kedvezőbb vízháztartási feltételeket eredményeznek. A lejtőhordalék talajok jellemzően ezeknek a domboldali szelvényeknek az alsó, lejtőalji szegmenseiben halmozódnak fel, ahol a gravitációs tömegmozgások, illetve a felszíni lefolyás révén lehordott finomabb szemcseméretű frakciók felhalmozódnak. A pa-

takmeder mentén a két talajtípus lehordott anyaga adja a friss öntés talajok eltérő rétegzettségét, amelyek az árvíz területi zónájában végig kísérik a völgyet, a völgytalpi részen pedig a korábban tárgyalt antropogén behatásra kialakult öntésréti talaj található. Ez az általános kép a laza üledékeken képződött talajok domborzati, valamint vízgyűjtő morfológiai tulajdonságait figyelembevéve nem meglepő, azonban, ha csak a rendelkezésre álló talajtani adatbázisokra támaszkodnánk a talajtulajdonságok parametri-

zálásánál (lefolysmodellezés esetén), úgy nem kapnánk hiteles eredményeket, mivel az Agrotopo adatbázis ezt a területet a barnaföldek, Cambisol csoportba osztja be és annak megfelelően írja le fizikai és kémiai tulajdonságait. Ez a leegyszerűsítés figyelmen kívül hagyja a térség talajainak finomléptékű változatosságát, különösen a lejtőhordalék és öntéstalajok jelenlétét, ami torzíthatja a modell-alapú hidrológiai előrejelzések (árhullám időzítése, beszivárgási arányok, felszíni lefolyás intenzitása) eredményeit.



16. ábra. A Cseres-völgy digitális talajtérképe
Figure 16. Digital soil map of Cseres-valley

A hidrológiai modellek bemeneti adatainak és eredményeinek összehasonlítása

A lefolyásmodellek bemeneti paramétereinek meghatározása a korábbiakban tárgyalt terepi és laboratóriumi vizsgálatokra, valamint a GIS adatbázis alapján

összeállított tematikus térképekre, számadatokra támaszkodott. Az ezekből nyert számértékek és tapasztalati adatok szolgáltak alapul a modellbeállítások finomhangolásához, törekedve a lehető legpontosabb közelítésre (6. táblázat).

6. táblázat. A HEC-HMS CN, valamint Green&Ampt lefolyásmodellek bemeneti paramétereit
Table 6. Input parameters of HEC-HMS CN, Green&Ampt models

Modell típusa					
CN		Green & Ampt			
Kezdeti vízvisszatartás – initial abs.	0,35	Elfolyási veszteség – initial cont.	0,20	Tárolási együttható (h) -Storage coeff.	0,7
Görbeszám - CN	84	Telített nedvesség tartalom – saturated cont.	0,40	Lefolyás hossza (m) - route	1 500
Burkolt felület – impervious perc. (%)	0	Kapilláris szívóerő Suction (mm)	130	Lejtés (m/m) - slope	0,0717
Csúcsvízhozam számítási módszer	Peak rate 600	Hidraulikus vezetőképesség (mm/h)	0,15	Manning-féle érdességi tényező (n)	0,035
Késleltetési idő (min) - lag time	28,64	Kezdeti felszíntárolás – simple surface-initial cont. (mm)	0,5	Alszakaszok-Subreaches	10
Lefolyási görbe típusa	SCS egységárhullám	Maximális felszíntárolás – max storage (mm)	8	Árhullám sebesség – celerity (m/s)	5
Folyószakasz árhullám levezetési módszer - reach routing method	Kinematikai árhullám – kinematic wave	Hidrográf típusa	Clark-egység árhullám	Mederszélesség (m) – Bottom	1
		Összegyülekezési idő (h) – time of concent.	1,04	Oldallejtő arány – side ratio	1

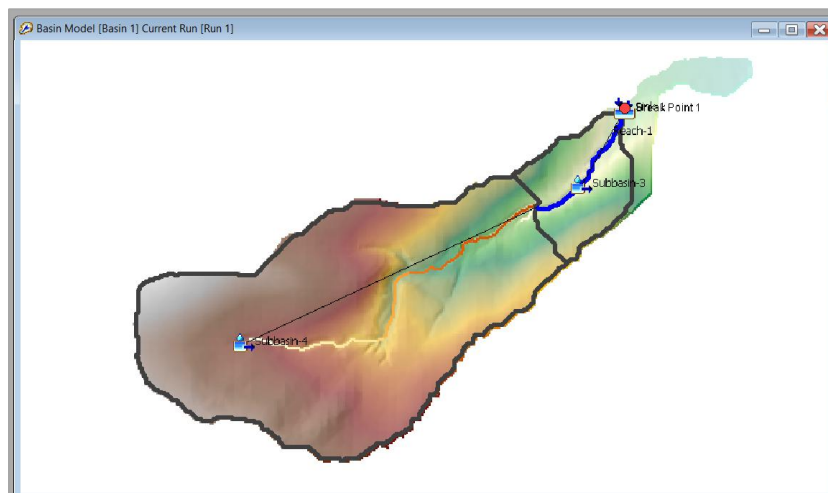
A terület felszíne döntően vályog és agyagos-vályog textúrájú, amelyet jelentős felszíni erózió jellemez. A felszínborítottság tekintetében a nyílt, gyéren fedett területek dominálnak, körülbelül 70%-os arányban az erdős állományokkal szemben, amelyek mintegy 30%-át fedik le a vízgyűjtőnek. A völgy alapvetően egy száraz völgyben helyezkedik el, nem rendelkezik állandó vízhozamú vízfolyással, medre közepesen durva (homokos, kavicsos) természetesen jellegű meder, így a modell további bemeneti paramétereinek számítása ezek figyelembevételével történt (*URL2*).

A vízgyűjtő kis területe ($\sim 0,76 \text{ km}^2$) és közepes lefutási hossza ($\approx 1,5\text{--}1,9 \text{ km}$) egyoldalú, gyors lefolyási potenciált jelez, ez konzisztens azzal, hogy a modellben a kinematikus/Clark-féle lefolyási úthoz viszonylag nagy tárolási, 0,7 h együttthatót és egy 1,04 h-os összegyűlekezési időt adtunk meg. A laboratóriumi szemeloszlás adatok nagyobb finomfrakció-arányt mutatnak (sok rétegben $>30\%$ agyag/iszap tartalom), és a humusztartalom alacsony (0,4–2,1%), ami együtt a mért nagyon alacsony telített vezetőképességgel (0,05–0,24 mm/h; a Green & Ampt-ban alkalmazott paraméter $\approx 0,15 \text{ mm/h}$) magyarázza a felszíni lefolyásra való erős hajlamot. Ennek megfelelően az SCS–CN magas, 84-es értéke nem ellentmondó, amelyet az előző fejezetekben tárgyalt tömörödöttség is alátámaszt. Burkolt felület nem található a vízgyűjtőn, azonban a beszivárgási együttthatók vizsgálatai alapján megállapítható, hogy kifejezetten kedvezőtlen, közel betonfelszínű a talajok beszivárgása, amely tovább növelte a CN együtttható alkalmazott értékét.

A Green & Ampt bemeneti adatai (telített nedvesség tart. $\approx 0,40$, kezdeti nedvesség $\approx 0,20$, kapilláris szívóerő $\approx 130 \text{ mm}$) a fizikai dinamikát írják le. Ezek az adatok meghatározóak a kezdeti beszivárgás mértékét és a beszivárgás gyors csökkenését az intenzív csapadék során, amelyek összhangban állnak a terepen tapasztaltakkal (5. táblázat). A mederleíró paraméterek (meredek, $\sim 7\%$ -os átlagos lejtő és 1 m széles keskeny meder) gyors áramlást eredményeznek, míg a Manning $n = 0,035$ érték természetes, vegetált mederviszonyokat jellemez. Ezek együtt magyarázzák, miért ad a vízmennyiség viszonylag gyors térbeli elvezetést, amely az áramlási sebesség (celerity) értékénél (5 m/s) is mutatkozik, amely magas érték fakadhat a meder fizikai tulajdonságainak bizonytalanságából is.

Összefoglalva, a magas CN és a Green & Ampt fizikailag definiált paraméterei egymást kiegészítik: az egyik empirikusan foglalja össze a terepi és labor eredményekből következő, nagy felszíni lefolyásra utaló jellemzőket, a másik pedig lehetővé teszi, hogy a mért hidraulikus vezetőképesség és kapilláris paraméterek hatása explicit módon kihat az eredményekre, amelyeket részletesebben a következő szakaszban tárgyalunk.

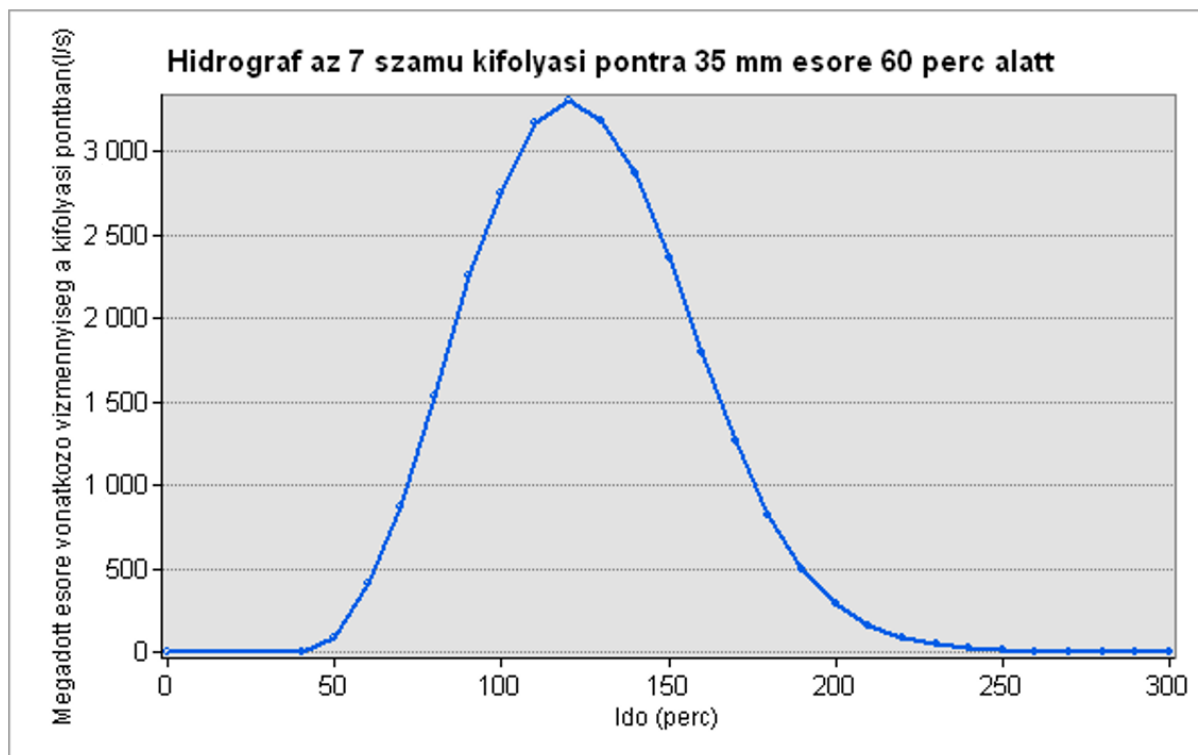
A modellezések közös adatai az egy órán belüli 35 mm/h csapadék intenzitás 10 perces időfelbontásban. A modellezés során a Cseres-völgyben a vízgyűjtő kifolyási pontját a még bolygatatlan területen jelöltük ki (17. ábra), mivel a terület tulajdonosa az árvíz elleni védekezés során jelentősen megváltoztatta (lefolyási útvonalba keresztbe tett beton elemek, újonnan kialakított lefolyási útvonal, betonáteresszel) a természetes lefolyási irányokat.



17. ábra. A Cseres vízgyűjtő a HEC-HMS modelljében
Figure 17. Cseres watershed in HEC-HMS

A vizsgálat során először a ME-Hydrograph modellt futtattuk le (18. ábra), majd az eredmény raszter attribútum táblája alapján trapéz integrál módszerrel kiszámoltuk a teljes vízhozamot. Az ábrán látható, hogy a 40. percig nem jelentkezik víz a kifolyási pontnál, ez azt jelenti, hogy a vegetáció legfelső rétegétől (lombkoronaszint) a talaj pórusteréig terjedő rendszernek ennyi időre van szüksége ahhoz, hogy a beérkező csapadék a felszínre jusson, majd a talaj telítődjön és elinduljon a fel-

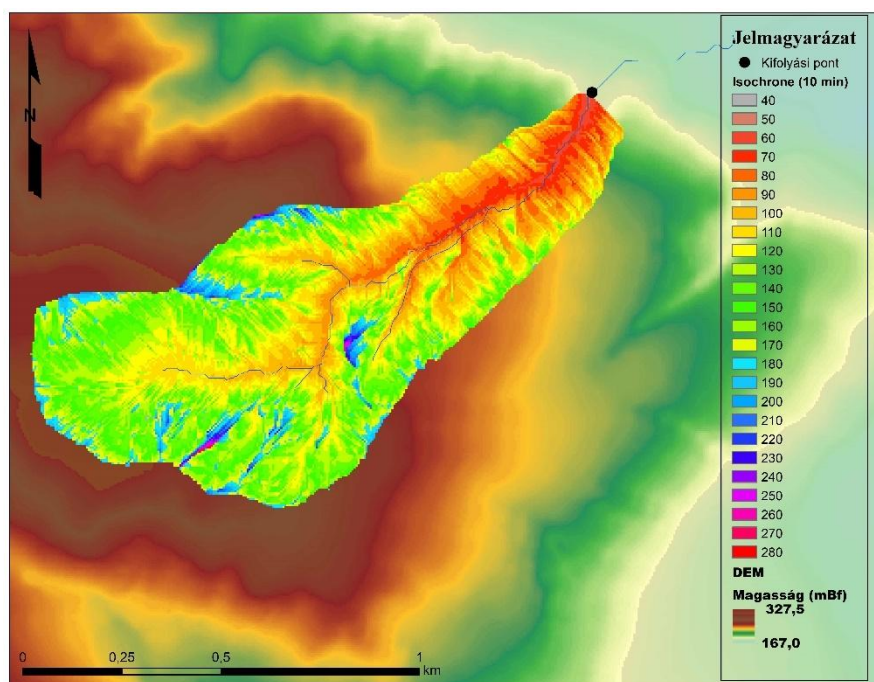
színi lefolyás. Ez a részeredmény egyezik a valós vilámárvíz elleni védekezés alapján megfigyelt „félórás” szabállyal, mely szerint a vihar kezdetétől számított kb. harminc percen belül még nem jelentkezik árhullám. A vízgyűjtőre számított teljes vízhozam $17\,820 \text{ m}^3$ volt. A lehullott csapadék mennyisége 22,6 mm, amelynek mintegy 67%-a alakult át felszíni lefolyássá, jelezve a vízgyűjtő gyors reakciókészségét és korlátozott beszivárgási kapacitását.



18. ábra. Az ME_Hydrograph eredménye
Figure 18. Result of ME-Hydrograph

Az árhullám a csapadékeseményt követően viszonylag gyorsan, mintegy 40 perc elteltével indult el, és 1 óra 50 percnél érte el a csúcspontját, melyhez 3,6 m³/s-os csúcsvízhozam társult. A csúcsvízhozam eléréséhez szükséges idő 65 perc volt, míg az árhullám teljes időtartama megközelítőleg 3 órát tett ki. Ezek az adatok jól tükrözik a vízgyűjtő gyors lefolyású, árhullámképző típusát, amelyet a meredek lejtés, a tömődött, erodált barna erdőtalajok, va-

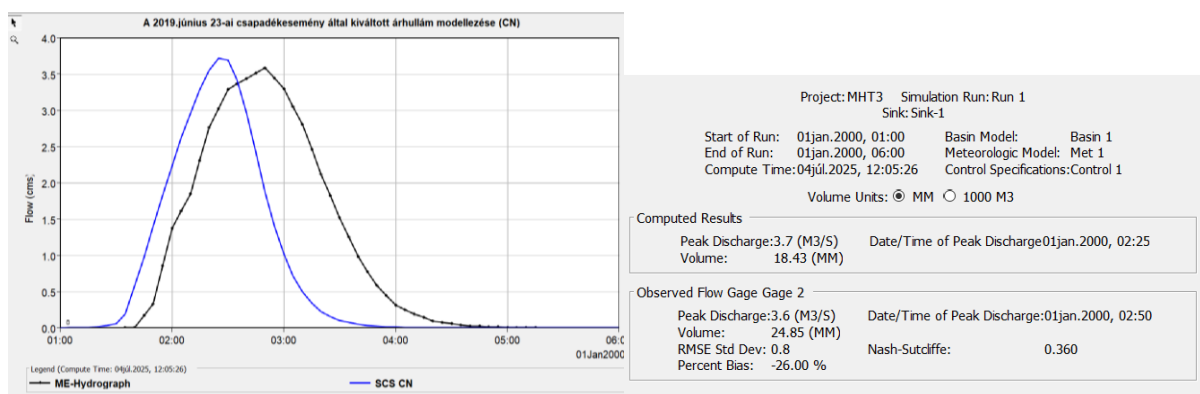
lamint a korlátozott vízbefogadó képesség együttesen határoznak meg. A modell futása során létrehozott raszterek közül kiemeltnék a korábban tárgyalt 10 perces időintervallumra osztályozott izokron térképet (19. ábra), amely különösen releváns a villámárvizek modellezése és a kockázátértékelés szempontjából, hiszen jól érzékelteti a kisvízgyűjtők időbeli lefolyási dinamikáját és az extrém csapadékeseményekre adott válaszaik gyors lefutását.



19. ábra. A talaj és felszíni tulajdonsággal súlyozott izokron térkép
Figure 19. Isochrone map weighted by soil and surface properties

A további vizsgálatok könnyebb összehasonlíthatósága érdekében a vízhozam adatait megadtuk a HEC-HMS megfigyelési (observed flow) vízhozamnak. Az SCS Curve Number (CN) és Green & Ampt modell korábban ismertett input adatainak futtatása során az alábbi eredményeket kaptuk (20-21. ábra). A Curve Number (CN) modell alkalmazása során kapott eredmények, SCS CN_1 (20. ábra) alapján a rendszer numerikusan stabilnak és hidrológiailag konzisztensnek tekinthető. Az almedencékhez tartozó térfogat értéke 0,999 mm gyakorlatilag az elméleti 1 mm-rel egyezik meg, ami azt jelzi, hogy a csapadék-lefolyás transzformáció térfogati egyensúlya jól érvényesül, a hidrográf időbeli feloszlása nem torzult és a modellezett árhullám mennyisége megfelel a csapadék inputnak. A kinematikus hullám levezetés során a lefolyási szakaszra vonatkozó térfogatellenőrzés is megfelelő egyensúlyt mutat: a befolyó és kifolyó vízmennyiség között mindössze 3 m³ különbség van, amely - 0,03%-os relatív hibát jelent. Ez a minimális eltérés, valamint a közel megegyező vízáramlási értékek – 4,9 m/s és 5 m/s – alapján megállapítható, hogy a levezetés fizikai és numerikus megközelítése megfelelő. A két árhullám vízhozamcsúcsa hasonló, azonban össztérfogatukban jelentős különbség (4 500 m³) tapasztalható, ez a különbség utalhat a nem megfelelő csapadékintenzitás vagy a talaj víztelítettségi ál-

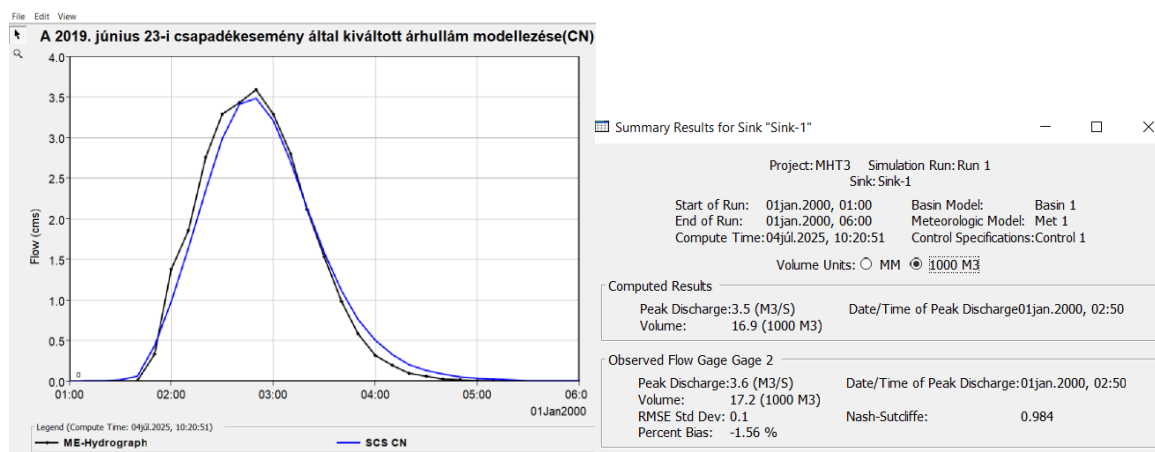
lapotának beállításának hibájára is. A modellek a valós térben bekövetkező árhullámokról származó mért adatok hiányában elsősorban a paramétereizhetőség adta lehetőségeket képesek kihasználni a hidrológiai konzisztencia keretein belül, valamint téradat-alapú optimalizációs eljárásokra (pl. terepi mérések, domborzatmodellek, felszínborítási adatok) hagyatkozhatnak. Ezen módszerek kockázata, hogy az eredmények a hidrológiai folyamatok kvalitatív értelmezésére, mintsem kvantitatív előrejelzésre alkalmasak, ugyanakkor értékes információt nyújtanak a rendszer fizikai működéséről és a paraméterérzékenység irányairól. Jelen teoretikus modellezési állapotban csupán a modellek egymáshoz viszonyított teljesítménye értékelhető, amely minősítésre alkalmazott statisztikai mutatók közül az átlagos négyzetes hiba gyöke (RMSE) 0,8 értéke mérsékelt illeszkedésre utal. A Nash-Sutcliffe hatékonysági együttható (NSE) 0,36-os értéke viszont azt mutatja, hogy a modell ugyan képes visszaadni az árhullám általános alakját és trendjeit, de jelentős pontatlanságokkal. Az NSE értéke ideálisan 0,5 felett van, a 0,36 pedig a közepes–gyenge kategóriába esik. A -26%-os relatív hiba (percent bias) arra utal, hogy a CN modell az összlefolyást jelentősen alábecsüli, ami gyakori jelenség túl erős beszívargási paraméterezés, alulbecsült CN-értékek, vagy túlzott talajvíz-visszatartás esetén.



20. ábra. Az SCS CN_1 hidrográfja és összefoglaló táblázata
Figure. 20. The hydrograph and summary report of SCS CN_1 model

Összességében megállapítható, hogy a modell fizikailag stabil eredményeket szolgáltat, a lefolyási volumenek és áramlási paraméterek térfogat eredményei egyensúlyban vannak. Ugyanakkor a statisztikai illeszkedés alapján a modell még nem ad pontos előrejelzést, különösen a térfogatot tekintve. Teljes illeszkedés a CN növelésével és a kezdeti talajnedvesség állapotok módosításával sikerült (21. ábra). Ekkor az árhullámgörbék (SCS CN_2) egyezést mutattak, amit a főbb lefolyási paraméterek és statisztikai mutatók is alátámasztottak. Ekkor a modell által számított csúcsvízhozam 3,5 m³/s volt, amely csupán 0,1 m³/s eltérést mutat a megfigyelt 3,6 m³/s-hoz képest, míg az összes lefolyt vízmennyiség tekintetében a különbség elhanyagolható volt (300 m³). A modell teljesítményét jellemző Nash–Sutcliffe hatékonysági együttható értéke 0,984, ami a gyakorlatban szinte tökéletes illeszkedést je-

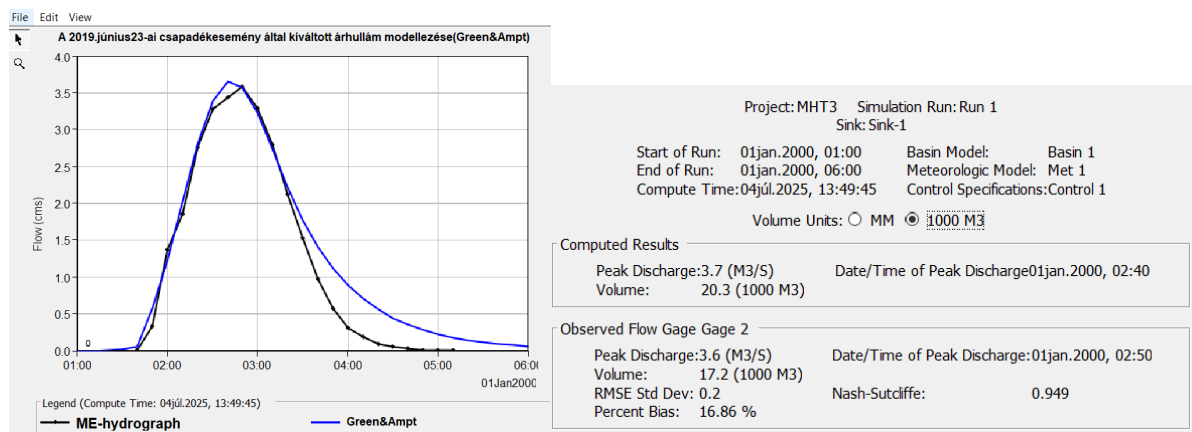
lent, míg a százalékos torzítás -1,56% volt, ami minimális alábecsülésre utal. Az RMSE szórása 0,1 értékkel szintén a kis hibaszintet igazolja. A CN modell erőssége tehát az egyszerűsített empirikus megközelítés ellenére is megmutatkozott, mivel a vizsgált kisvízgyűjtő gyors lefolyású és viszonylag homogén felszínborítás és talajtani viszonyok mellett képes volt nagy pontossággal visszaadni a lefolyási dinamikát. Fontos megjegyezni, hogy a bemenő paraméterek (CN az agyag talajnak felel meg) alapján a modell szélsőértékekkel számol. Az SCS CN_1 és CN_2, valamint a ME-Hydrograph összehasonlításának elsődleges célja a GIS- és távérzékelési módszertanokból származó input adatok ellenőrzése, továbbá a hidrográf vizuális értékelése, az árhullám kilépési pontjához tartozó időpont meghatározása, valamint az árhullámcsúcs eltolódásának mértékének vizsgálata volt.



21. ábra. Az SCS CN₂ hidrográfja és összefoglaló táblázata
Figure 21. The hydrograph and summary report of SCS CN₂ model

A Green & Ampt esetében már sokkal részletesebb input adatok kerültek megadásra, amely az eredményen is megltázott (21. ábra). A modellfutás során kapott eredmények hidrológiailag koherens és numerikusan stabil viselkedést mutattak. Az almedencékhez rendelt válaszfüggvény megfelelően reprezentálta az egységnyi csapadékhoz tartozó lefolyástérfogatot, és a rendszer volumetrikus egyensúlyban van. A kinematikus árhullám levezetés vizsgálata szerint a lefolyási szakaszon a bemenő (inflow) és kimenő (outflow) közötti különbség minimális, mindössze 0,42%-os relatív hibával, amely a modellezés pontosságát és a térfogatomegmaradás teljesülését támasztja alá. A lefolyási sebesség értéke – 5 m/s alkalmazott és 4,9 m/s becsült – csak 2%-os eltérést mutat, ami szintén azt jelzi, hogy az áramlás idő számítása jól illeszkedik a levezetett vízmennyi-

ség dinamikájához. Az árhullám csúcseredménye 3,7 m³/s volt, amely csak 0,1 m³/s-al haladja meg a ME-Hydrograph 3,6 m³/s értékét, vagyis a csúcszham pontos becslését adja. A volumenek közötti eltérés megmaradt (3 100 m³), már kevesebb, mint az SCS CN esetében, tehát a statisztikai értékelés alapján ez az eltérés nem tekinthető jelentős torzulásnak. A százalékos torzítás 16,8%-os pozitív értéke mérsékelt túlbecslést jelez, ami elsősorban a beszívargási vagy felszínborítási paraméterek további finomhangolásával csökkenthető. A Nash–Sutcliffe hatékonysági együttható 0,94, amely kiváló illeszkedést jelent, és azt mutatja, hogy a modell a megfigyelt időbeli változásokat jól képes visszaadni. Az alacsony RMSE (0,2 m³/s) szintén alátámasztja a pontosságot, mivel ez a hibaszint messze a napi vízhozam-ingadozások alatt marad.



22. ábra. A Green&Ampt hidrográfja és összefoglaló táblázata
Figure 22. The hydrograph and summary of the Green&Ampt model

Általánosságban megállapítható, hogy egyes elemekben találkozik a két modell, azonban mind a megjelenő vízmennyiség, mind az árvízcsúcs, valamint a görbe lefutásában vannak eltérések, fontos tapasztalat volt továbbá, hogy a talajparaméterek (Simple surface method: initial és max content) beállításáig az árvízcsúcsot magasabbra becsülte a modell, tehát a talajparaméterek ismerete döntő egy ilyen csapadékeseményből származó árhullám esetében. A két modell összehasonlításának célja a bővebb paramétereizhetőség adta lehetőségek alkalmazása volt a talaj adatokat illetően.

Az összes vizsgált lefolyásmodell eredményei alapján megállapítható, hogy mind az SCS Curve Number (CN), mind a Green & Ampt modell jól reprezentálja a vizsgált vízgyűjtő árhullám-dinamikáját, azonban számottevő különbségek mutatkoznak a becsült vízhozamok és lefolyási arányok tekintetében (7. táblázat). A számított teljes víztérfogat a Green & Ampt modell esetében volt a legmagasabb (20 030 m³), míg a legalacsonyabb értéket az SCS Curve Number 2 variáns adta (16 900 m³), ami azt jelzi, hogy a Green & Ampt a lefolyás volumenét jelentősebbre becsülte,

valószínűsíthetően a magasabb beszivárgási telítettségi állapot és a paraméterérzékenység miatt. A lefolyási arány is ezt támasztja alá: míg a CN-alapú mo-

dellek 67-70% körüli arányt jeleznek, a Green & Ampt esetében ez a mutató elérte a 84,5%-ot, ami intenzívebb felszíni lefolyást jelez.

7. táblázat. A tesztelt lefolyásmodellek eredményeinek összefoglalója

Table 7. Summary of the results of the tested runoff models

Vízgyűjtő név: Cseres		Vízgyűjtő mérete: 0,76 km²		
Vízhozam számítás eredmények				
	ME-Hydrograph	SCS Curve Number 1	SCS Curve Number 2	Green&Ampt
Vízgyűjtőre számított teljes víztérfogat (m³),	17 820	18 430	16 900	20 030
Árhullám kezdete (h:min)	0:40	0:45	0:45	0:40
Árhullám csúcs (h:min)	1:50	1:50	1:50	1:40
Csúcs vízhozam (m³/s)	3,6	3,7	3,5	3,8
Eltelt idő a csúcsvízhozamig (min)	65	65	65	65
Árhullám időtartama (h)	3	6	6	6
Lefolyási arány (%)	~ 67	~ 70	~ 70	~ 84,5

Az árhullámok időbeli jellemzői viszonylag jól egyeznek a modellek között: a csúcshozam minden esetben 65 perccel az esemény kezdete után következett be, és a csúcsok közötti eltérés csak $\pm 0,2$ m³/s tartományban mozgott. A Green & Ampt modell némileg hamarabb generált csúcsot (1:40), amely a gyorsabb felszíni válaszreakcióra utal. Az árhullám időtartama az SCS CN₁ modell kivételével minden esetben 6 óra volt, míg az ME-Hydrograph csupán 3 órás árhullámot szimulált, ami rövidebb lefolyási folyamatot és koncentráltabb csapadéklefolyást feltételez.

A Green & Ampt modell érzékenyebb a talaj fizikai jellemzőire és a kezdeti nedvességi állapotra, ami nagyobb árhullám-volumen eredményezett, így elsősorban extrém események modellezéséhez vagy érzékenységi elemzésekhez lehet hasznos. A modellek közötti különbségek rámutatnak arra, hogy a kiválasztott beszivárgási algoritmus jelentősen befolyásolja a lefolyási becsléseket, ezért alkalmazási céltól és helyszíni adottságoktól függően indokolt a megfelelő modell kiválasztása.

KÖVETKEZTETÉSEK

Az intenzív csapadékesemények következtében várhatóan fokozódó villámárvíz-kockázat miatt kiemelt fontosságú a kevésbé ismert kisvízgyűjtők részletes jellemzése. Ennek ma már kulcsfontosságú eszközei az ingyenesen vagy alacsony költséggel hozzáférhető távérzékelési és GIS-adatok (Sentinel-műholdképek, vegetációs indexek, felszínborítási térképek, nagyfelbontású domborzati állományok), amelyek automatizált feldolgozással közvetlenül integrálhatók lefolyásmodellekbe. A geostatistikai és gépi tanulási alapú térbeli kiterjesztések (pl. Random Forest) lehetővé teszik, hogy a paraméterezés ne pontszerű, hanem pixelenként, területre értelmezve történjen. A talajtani paraméterek (beszivárgási kapacitás, pórustér, szerkezet) továbbra is a legkritikusabb és legösszetettebb modell bemeneteket jelentik, ezért a célzott terepi mérések (például penetrométeres vizsgálatok) lényegesen csökkentik a predikciós bizonytalanságot. A talajtani paraméterek terepi meghatározása, valamint a digitális talajtérkép létrehozása elsőre bonyolultnak és magas költségvetésűnek tűnhet, azonban a kockázati térképi adatbázisok felhasználásával a magas kockázatú területek könnyen meghatározhatók.

Ezen területeken mezőgazdasági művelés esetén jogszabályban foglalt (61/2009. (V. 14.) FVM rendelet) kötelezettség az 5 hektáronkénti talajmintavételezés, amely már megfelelő felbontású háttéradatot biztosíthat.

Jelen kutatásban a terepi és digitális téradatokon alapuló ME-Hydrograph modellt hasonlítottuk össze a HEC-HMS keretrendszer SCS-CN és Green & Ampt moduljaival. A felmérés valós csapadékesemény adataira alapozott, és elméleti szinten modellezte a 2019. júniusában bekövetkezett eseményt. A vizsgálat célja nem csupán a modellek kalibrációja volt, hanem a bemenő adatok, különösen a talajtani paraméterek bemutatása, minőségértékelése és statisztikai elemzése is. A koncepcionális jellegű összevetésre részben az ÉMVIZIG területén hiányzó vízmérési referenciaadatok miatt volt szükség. Ennek ellenére a modellek közötti eltérések világosan rámutattak arra, hogy a talajparaméterek (különösen a kezdeti telítettség és a beszivárgási jellemzők) bevezetése és finomhangolása döntő hatása a vízhozambecslések pontosságára. A lefolyásmodellek teljesítménye összetett képet mutat: a HEC-HMS keretében futtatott SCS CN és Green & Ampt modellek fizikailag koherens és stabil eredményt adtak. Az első SCS CN-paraméterezés mérsékelt illeszkedést mutatott (NSE $\approx$ 0,36; RMSE $\approx$ 0,8 m³/s; PBIAS $\approx$ -26%), ami a túl magas beszivárgási értékekre vagy az alacsony kezdeti talajtelítettségére utalhat. A CN-érték és a kezdeti nedvesség finomítása után a modell teljesítménye jelentősen javult: a kalibrált beállításokkal a szimulált csúcsvízhozam és a kifolyt vízmennyiség gyakorlatilag pontosan egyezett a megfigyelt értékekkel (NSE $\approx$ 0,984; RMSE $\approx$ 0,1 m³/s; PBIAS $\approx$ -1,6%). A fizikai Green & Ampt módszerrel alapfelületben is kiemelkedően pontos eredményt kaptunk (NSE $\approx$ 0,94; RMSE $\approx$ 0,2 m³/s), a csúcshozamot pontosan jelezte előre, bár a teljes volumenben egy kis eltérés maradt (~3 100 m³; PBIAS $\approx$ +16,8%).

Az ME-Hydrograph előnye, hogy egyszerre több kifolyási pontot képes kezelni, és nem igényel olyan mértékű szakértelmet, mint a HEC-HMS modulok. Emellett a vízgyűjtő kijelöléséhez és a hidrológiai modellezéshez szükséges részfeladatokat – például a kifolyási pont meghatározását, a domborzati egyenetlenségek simítását és a csapadékadatok integrálását – automatikusan elvégzi, szemben a HEC-HMS manuálisan paraméterezendő folyamata-

ival. A létrejövő raszteres állományok, például az izokron térkép, jól értelmezhető és térben vizualizálható információt nyújtanak a lefolyási folyamatokról, továbbá lehetővé teszik a távérzékelési adatok integrálását is. Előnye, hogy részletes térképi talajadatok felhasználásával, alacsony terapi kalibráció mellett is a többi modell eredményeivel összevethető, hasonló végeredményt produkál, mind a csúcsvízhozam nagyságában, mind a megjelenés időpontjában. A talaj vízvisszatartó képességét és kezdeti telítettségét figyelembe vevő modell így elfogadható árhullám-görbéket generál, lehetővé téve a felszín- és talajadottságok részletes leképezését. A modell hátránya, hogy nem képes nagyméretű csapadékvíz adatsorok feldolgozására, és a kimeneti adatok megjelenítése – például a csapadék-adatok együttes ábrázolása a vízhozamgörbével – jelenleg továbbfejlesztést igényel a későbbi alkalmazásokhoz. A vizsgált vízgyűjtőn alkalmazott ME-Hydrograph domborzi és felszínborítási adatainak feldolgozása statisztikailag megalapozott interpolációs módszerekkel történt, ugyanakkor jövőbeli célként indokolt a modell ismert vízhozammal rendelkező referencia-területen történő tesztelése, a modell pontosságának validálása érdekében, mivel jelenleg csak az egyes megközelítésű modellek eredményeinek összehasonlítása lehetséges.

A további kutatási irányok szorosan kapcsolódnak a kockázati térképezéshez, amely fejlesztésre szorul a TWI és NDVI értéktartományait illetően (Sarkadi és társai 2022, Dobai és Dobos 2025), továbbá szükséges lenne a hazai jellemző, de regionálisan eltérő kockázati kitettségű térségekre (Mecsek, Tokaj) értelmezve létrehozni a jelen kutatás eredményeit (várható vízhozam, digitális talajtérkép stb.) is. Ezen feladatok elvégzésével megfelelő adatbázis jönne létre, amely megalapozhatná a mesterséges intelligencia (AI) alapú, országos léptékű, komplex hidrológiai viszonyok elemzéseit.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a 2020-1.1.2-PIACI-KFI: „Piac vezérelt kutatási, fejlesztési és innovációs projektek támogatása - ICT-platform kialakítása a talajinformáció-vezérelt mezőgazdaság támogatására a mezőgazdasági termelés irányítására és optimalizálására. és a talajrendszerre gyakorolt hatások monitorozása”, támogatásával valósult meg. Külön köszönjük Vadnai Péter József munkáját a vizsgált lefolyásmodell létrehozásához.

IRODALOMJEGYZÉK

Aaron, C., Venkatesh, M. (2009). Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping, *Journal of Hydrology*, Vol. 377, Issues 1-2, 2009, pp 131-142. ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.015>

Amon, G., Bene, K., Ray, R., Gribovszki, Z., Kalicz, P. (2024). Improving Flash Flood Hydrodynamic Simulations by Integrating Leaf Litter and Interception Processes in Steep-Sloped Natural Watersheds. *Water*, 16(5), 750. <https://doi.org/10.3390/w16050750>

ACQUIS (2020). Kondó községben 2019. június 23-án bekövetkezett vis maior esemény okozta károsodások helyreállítása, ACQUIS Bt. Ebr: 454 528, tervszám: K-

12/2020. Kondó település Polgármesteri Hivatalának adatára, pp 3-27.

B.A.Z. MKI (2021). Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság „A”, jelű Előzetes Helyszíni vizsgálat jegyzőkönyvei 2010–2020. Kondó település Polgár Mesteri Hivatalának adattára, pp 4-5. 94/2015 (XII.23) FM rendelet – az elháríthatatlan külső ok (vis maior) esetén alkalmazandó egyes szabályokról és a vis maiorral összefüggő egyes miniszteri rendeletek módosításáról.

Chow, V. T. (1959). *Ppen-channel hydraulics*. McGraw-Hill. New York. pp. 680-684.

Czigány, S., Pirkhoffer, E., Geresdi, I. (2009). Environmental impacts of flash floods in Hungary. In *Flood Risk Management: Research and Practice.*, Taylor & Francis Group, pp. 1439-1447. <https://doi.org/10.1201/9780203883020.ch169>

Daróczy S., Lelkes J. (1999). A szarvasi PENETRONIK talajvizsgáló nyomószonda alkalmazása. *Gyakorlati Agroforum. Különszám a talajművelésről.* 10. 7. pp. 16-18.

Deák T., Dobai A., Kovács Z. K., Molnár F., Dobos E. (2024). Spatial extension of soil water regime variables derived from soil moisture values using geomorphological variables in Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin*, 73(4), pp. 337-353. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.73.4.1>

De Rosa, P., Fredduzzi, A., Cencetti, C. (2019). Stream Power Determination in GIS: An Index to Evaluate the Most 'Sensitive' Points of a River. *Water*, 11(6), 1145. <https://doi.org/10.3390/w11061145>

Dexter, A.R.; Czyz, E.A., Gate, O.P.A (2007). Method for prediction of soil penetration resistance. *Soil Till. Res.*, 93. pp. 412-419, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.05.011>

Dobai A., Dobos E. (2022). Hegy és dombvidéki kisvízgyűjtőkön kialakuló árhullámok elleni védekezés támogatása térinformatikai módszerekkel. *Debreceni Egyetem, Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás kiadványa*, pp. 109-117. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2022.2.8>

Dobai, A., Vágó, J., Hegedűs, A., Kovács, K.Z., Pecsmány, P., Seres, A., Dobos, E. (2024). GIS and soil property-based development of runoff modeling to assess the capacity of urban drainage systems for flash floods, *Hungarian Geographical Bulletin*, 73(4), pp. 379-394. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.73.4.3>

Dobai A., Dobos E (2025). A villámárvíz kockázati térképezési módszertan fejlesztése Észak-Magyarországi dombsági területeken. *Hidrológiai Közöny*, 105(2), pp. 24-37. <https://doi.org/10.59258/hk.19231>

Dobos, E., Daroussin, J. (2005). The derivation of the potential drainage density index (PDD). In *An SRTM-Based Procedure to Delineate SOTER Terrain Units on 1:1 and 1:5 millions scales*. By Dobos, E., Daroussin, J. and Montanarella, L., Luxemburg, Office for Official Publications for the European Communities, Luxemburg, pp. 40-45.

- Emery, C.M., Larnier, K., Liquet, M., Hemptinne, J., Vincent, A., Peña Luque, S. (2021). Extraction of roughness parameters from remotely-sensed products for hydrology applications, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/hess-2021-551>
- ÉMKTVF (2013). Észak-Magyarországi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség – 2625-10/2012.sz vízjogi létesítési engedély számú, Kondó záportározó jogerős határozata; 2013. 4 p. Kondó település Polgár Mesteri Hivatalának adataira.
- Ennaji, N., Ouakhr, H., Halouan, S., Abahrour, M. (2022). Sediment Transport Index (STI) modeling using the GIS at Small Agricultural Catchment. *International Journal of Novel Research in Engineering & Pharmaceutical Sciences*. 2. ISSN: 2583-1658.
- Feldman, A.D. (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual; [www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical_Reference_Manual_\(CPD-74B\).pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical_Reference_Manual_(CPD-74B).pdf)
- Ficklin, D., Zhang, M. (2013). A Comparison of the Curve Number and Green-Ampt Models in an Agricultural Watershed. *Transactions of the ASABE*. 56. pp. 61-69. <https://doi.org/10.13031/2013.42590>
- Galgóczy Zs. (2004). Morfometriai paraméterek vizsgálata a Nagy-Szamos forrásvidékén. *Földrajzi Közlemények* 128/1-4, pp. 89-103
- Gyalog L. (1996). A Földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása – MÁFI kiadvány, Budapest, p. 187.
- Harangi, Sz. (2001). Neogene to Quaternary Volcanism of the Carpathian-Pannonian Region. *Acta Geologica Hungarica*, 44 (2-3). pp. 223-258.
- Karagull, D., Frye C., Sayre R., Breyer S., Aniello P., Vaughan, R. Wright, D. (2017). Modeling global hammond landform regions from 250-m elevation data: Karagulle. *Transactions in GIS*. 21. <https://doi.org/10.1111/tgis.12265>
- Kibirige, D., Dobos, E. (2021). Off-site calibration approach of EnviroScan capacitance probe to assist operational field applications. *Water* 13. (6): 837. <https://doi.org/10.3390/w13060837>
- Knebl M.R., Yang, Z.-L., Hutchison, K., Maidment, D.R. (2005). Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event, *Journal of Environmental Management*, Vol. 75, Issue 4, 2005, pp. 325-336, ISSN 0301-4797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.11.024>
- Koris K. (2002). A hazai hegy- és dombvidéki kisvízgyűjtők árvízhozamainak meghatározása. *Vízügyi Közlemények* 84(1). pp. 64-77.
- Koris K. (2021). Magyarország kisvízfolyásainak árvi-zei. (Elektronikus változat.) 1-756 o. Országos Vízügyi Főigazgatóság Budapest. https://vpf.vizugy.hu/reg/ovf/doc/koris_bala-tonyi.pdf
- Kozák, M., Püspöki, Z. (1995). Correlative relationship between denudational periods and sedimentation in the forelands of the Bükk Mts. (NE Hungary). In CBGA XV. Congress. Athen, CBGA, pp. 340-345.
- Kozák, M., Püspöki, Z., Piros, O., László, A. (1998). The structural position of the Bükk Mountains based on tectono- and pebble stratigraphic analyses. In CBGA XVI. Congress. Wien, CBGA, 303.
- Luong, T.T., Pöschmann, J., Kronenberg, R., Bernhofer, C. (2021). Rainfall Threshold for Flash Flood Warning Based on Model Output of Soil Moisture: Case Study Wernersbach, Germany. *Water* 2021, 13. <https://doi.org/10.3390/w13081061>
- Michéli E., Fuchs M., Láng V., Csorba Á., Dobos E., Szegi T., Kele G. (2024). A diagnosztikus szemléletű hazai talajosztályozási rendszer. Útmutató. Második közzététel. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő.
- Mohamed, M.A. (2020). Classification of Landforms for Digital Soil Mapping in Urban Areas Using LiDAR Data Derived Terrain Attributes: A Case Study from Berlin, Germany. *Land*, 9(9), 319. <https://doi.org/10.3390/land9090319>
- OVF (2024a). Országos Vízügyi Főigazgatóság - 46 /2024 számú utasítása az Országos Vízügyi Főigazgatóság és a Vízügyi Igazgatóságok racionális méretezési módszer és országos csapadékkintenzitási adatok kötelező alkalmazására vonatkozó tervezési előírásairól
- OVF (2024b). Országos Vízügyi Főigazgatóság - 47 /2024 számú utasítása az Országos Vízügyi Főigazgatóság és a Vízügyi Igazgatóságok Magyarország hegy- és dombvidéki kisvízfolyásainak árvízszámítási segédletének használatáról
- Palicz N., Makkay J. (1978). Linieamman Keramia, magyar régészet az ezredfordulón, neolitikus szakasz 2003, pp. 205-210.
- Pásztor, L., Szabó, J. Bakacsi, Zs. (2010). Application of the Digital Kreybig Soil Information System for the delineation of naturally handicapped areas in Hungary. *Agrokémia és Talajtan*. 59. p. 47-56. <https://doi.org/10.1556/agrokem.59.2010.1.6>
- Pedrotti, A., Edrotti, A., Pauletto, E.A., Crestana, S., Ferreira, M.M., Dias Jr., M.S., Gomes A.S., Turatti, A.L. (2001). Resistência mecânica à penetração de um Planosolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25. pp. 521-529. 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000300001>
- Sabeti, R., Stamatakis, I., Kjeldsen, T. R. (2024). Reconstructing the 1968 River Chew flash flood: merging a HEC-RAS 2D hydraulic modelling approach with historical evidence. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1). <https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2377655>
- Sarkadi, N., Pirkhoffer, E., Lóczy, D., Balatonyi, L., Geresdi, I., Fábrián, Sz., Varga, G., Balogh, R., Gradwohl-Valkay, A., Halmai, Á., Czigány, Sz. (2022). Generation of a flood susceptibility map of evenly weighted conditioning factors for Hungary. *Geographica Pannonica*, 26(3), pp. 200-214. <https://doi.org/10.5937/gp26-34866>
- Szőllősi I. (2003). Talajok tömörödöttségi állapotának jellemzése penetrométeres vizsgálatokkal, doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem, <https://dea.lib.unideb.hu/server/api/core/bitstreams/575d22ea-ba21-47b8-8bac-1f9be5e2b560/content>.

Zsuffa I. (1997). Műszaki hidrológia II., 4.4 – A vízjárás területi alakulásának vizsgálata, 235 p. Műegyetemi Kiadó.

Vágó J. (2012). A kőzetminőség szerepe a Bükkalja völgy- és vízhálózatának kialakulásában, PhD értekezés Miskolc, pp 18-20.

Várallyay Gy., Fórizs J. (1966). A helyszíni talajfelvételezés módszertana (Methodology of in situ soil survey). In A genetikus üzemi talajtérképezés módszerkönyve. Ed.: Szabolcs, I., Budapest, Táncsics Könyvkiadó, 19-164.

Wilcox, B.P., Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., Wright, J.R. (1990). Predicting runoff from rangeland catchments: A comparison of two models. *Water Resources Res.* 26(10): pp. 2401-2410. <https://doi.org/10.1029/WR026i010p02401>

Xiaowei, Z., Warren, C.J., Spiers, G., Paul, V. (2024). Comparison of the integral suspension pressure (ISP) and the hydrometer methods for soil particle size analysis, *Geoderma*, Volume 442, 2024, 116792, ISSN 0016-7061. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116792>

61/2009. (V. 14.) FVM rendelet az Európai Mezőgazdasági Vidékfejlesztési Alapból nyújtott agrár-környezetgazdálkodási támogatások igénybevételének részletes feltételeiről

URL1: penetronik.hu – A Penetronik elektronikus talajvizsgáló nyomószonda használati útmutatója, E.N.S Informatikai és Rendszerintegrációs Zrt.

URL2: [hec.usace.army.mil-
https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/6.1/overview-of-optional-capabilities/modeling-precipitation-and-infiltration/green-ampt](https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/6.1/overview-of-optional-capabilities/modeling-precipitation-and-infiltration/green-ampt)

URL3: Meter-Pario manual: <https://www.labcell.com/media/136896/pario%20manual%20-%20email.pdf>

URL4: https://www.esri.com/arcgis-blog/products/analytics/analytics/predict-floods-with-unit-hydrographs?utm_source=chatgpt.com

URL5: <https://www.enfo.hu/keptar/1461>

URL6: <https://www.met.hu/>

A SZERZŐK



DOBAI ANDRÁS 1988-ban született Miskolcon, 2012-ben diplomát (MSc) szerzett a Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Karán, térinformatikából. 2019-2021 között az Észak-Magyarországi Vízügyi Igazgatóság, Miskolci Szakasztechnológiai Osztály vezetője, mint területi felügyelő. Jelenleg a Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola doktori képzésében vesz részt, kutatási területe a hegy és dombvidéki területeken jelentkező villámárvizek vizsgálata. Tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.



BÍRÓ TIBOR Okleveles agrármérnök, környezetvédelmi szakmérnök. A Debreceni Egyetemen kezdte felsőoktatási pályafutását, majd a Károly Róbert Főiskola dékányi és rektorhelyettesi, valamint a Szent István Egyetem dékányi pozícióit töltötte be. Később az NKE Víz- és Környezettudományi Karának dékányja. Az MHT alelnöke. Szakterülete a belvízrendezés, az öntözés, a hullámterek állapotértékelése és a távérzékelés vízgazdálkodási célú alkalmazásai. Számos kintutetés birtokosa, közte a Schafarzik Ferenc Emlékérem, a Köz Szolgálatáért Érdemjel Aranyfokozata, a Gátörkard elismerés, valamint a Környezet Védelméért díj. Több mint 230 publikáció szerzője.



DOBOS ENDRE 1968-ban született, Miskolcon. 1993-ban szerzett agrármérnöki diplomát a Gödöllői Agrártudományi Egyetemen, majd 1996-ban térinformatikai és környezetvizsgálati szakmérnöki végzettséget a Budapesti Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Karán. PhD címét 1998-ban, az Amerikai Egyesült Államokban, a Purdue Egyetemen szerezte digitális talajtérképezés és kis méretarányú talajtani adatbázisok vizsgálatának témakörében, amely jelenleg is a kutatási területét képezi, kiegészülve a digitális talajtérképezési eljárásokkal. 2021-ben habilitált a Miskolci Egyetemen. Egyetemi tanár, intézeti tanszékvezető, a Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Földrajz-Geoinformatika Intézet, Természetföldrajz-Környezettan Intézeti tanszékén. 2022-től a Magyar Talajtani Társaság elnöke. A Magyar Hidrológiai Társaság Tudományos Bizottságának tagja.



DEÁK TAMÁS 1993-ban született, BSc (2016) és MSc (2018) diplomáját geográfusként szerezte a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán. 2020-tól a MÁV Zrt. Miskolc Pályavasúti Területi Igazgatóságának Pályafenntartási Osztályán dolgozott. 2021 szeptemberétől a Miskolci Egyetem Földrajz-Geoinformatika Intézetének PhD-hallgatója és tudományos segédmunkatársa. Doktori kutatásának középpontjában egy talaj és térinformatikai alapú, döntéstámogató rendszert fejleszt a precíziós mezőgazdaság igényeinek megfelelően, szántóföldi öntözés céljából. A TalajGuru szoftver precíziós mezőgazdasági szolgáltató alapítója.

Fórum – VÍZ A TÁJBAN

Klíma adaptáció konfliktusokkal

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

Víz a tájban – Klíma adaptáció konfliktusokkal

konferencia 2025. november 6.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Díszterme



A klímaváltozás negatív hatásait egyre markánsabban mutatják az utóbbi évek az: aszály, vízhiány, hőségnapok, viharos szél. A társadalmunkat áthatják a klímaváltozással kapcsolatos aggodalmak, mivel nap, mint nap megérezzük a globális felmelegedés vízre gyakorolt hatásait: vagyis a sok víz, a kevés víz, vagy a rossz vízminőséggel kapcsolatos félelemeket. Bár a közösségi média is folyamatosan foglalkozik a „vizet a tájba” elnevezéssel illetett témával, de még szakmai körökben is jelentősek a szkeptikus vélemények és a megválaszolatlan kérdések.

Ezért a Magyar Hidrológiai Társaság vezetése úgy döntött, hogy a „Víz a Tájba Program” szakmai kérdéseiről ezt a konferenciát követően vitákat szervez, fórumot teremt a nézetek ütköztetésére, elemezve a klímahatások

elleni fellépés esélyeit, a siker lehetőségeit és feltételeit. Ugyanis reálisan kell mérlegelni, hogy milyen mértékű és irányú beavatkozások segíthetnek hozzá a klímareziliencia eléréséhez. Vizsgálni kell, hogy mely területeken kell paradigmaváltás és beszélni kell annak jelentőségéről. Nem szabad lebecsülni a nyilvánosság erejét, ezért fel kell vállalni az ebből adódó felvilágosítási feladatokat.

A szakmai dialógus nyitó eseményként a Magyar Hidrológiai Társaság az OVF Vízügyi Tudományos Tanács támogatásával 2025. november 6-án a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Dísztermében „VÍZ A TÁJBAN – KLÍMAADAPTÁCIÓ KONFLIKTUSOKKAL” címmel konferenciát rendezett, melyen a vízügyi szakma képviselői mellett megszólaltak a civilek a döntéshozók és az újságírók is.



V. Németh Zsolt vízgazdálkodásért felelős államtitkár,
Energiaügyi Minisztérium



Dr. Czepek Gábor az Energiaügyi Minisztérium
közigazgatási államtitkára

Dr. Charaf Hassan a Budapesti Műszaki Egyetem rektora megnyitója után dr. Czepek Gábor az Energiaügyi Minisztérium miniszterhelyettese köszöntjében hang-

súlyozta, hogy a feladatainkat összefogásban kell megvalósítani, csak így van esély a sikerre és ebben a minden segítséget megad.

Hol tartunk?

- 2023. február 8.
Energiaügyi Minisztérium: víziközmű szolgáltatásért való felelősség
- Vízügy: 70 éves mérnöki szervezet
- 2024. augusztus 1.
Energiaügyi Minisztérium: Integrált vízgazdálkodás szervezeti háttere
- 2024: 180 Mrd Ft → 105 Mrd Ft készleteink növelése
- 2025: 293 Mrd Ft → 218 Mrd Ft készleteink növelése
- Kiszámítható bérek (30% + 12% + 10%)
- Vízgazdálkodási tárcaközi koordináció
- „Víz a tájba” program
- Üzemrendek
- Jogszabályok



És mit várunk el a vízet a tájba programtól?

Konvektív csapadékot.
Talajvízszint emelkedést.
Hőszigetek és területi túlmelegedések megszűnését.
A természetes élőhelyek revitalizációját.
A hősokk csökkenését.

Klíma-mérséklődést



- Magyarországon a felszín alatti vízkészletek vízmérlege deficitese,
- Az első kedvezőtlen jelek láthatók, intézkedések szükségesek,
- Szemléletváltásra és lakossági szemléletformálásra van szükség,
- A közeljövőben ki kell dolgozni egy cselekvési tervet, aminek megvalósításához megfelelő anyagi forrásokat kell biztosítani!



V. Németh Zsolt az Energiaügyi Minisztérium vízgazdálkodásért felelős államtitkára, „Korszakok határán a vízgazdálkodásban” című beszédében így fogalmaz: *Érvényesíteni kell a döntési mechanizmusokban a víz jelentőségét! A felelősség közös, ugyanis nem kizárólag állami, hanem társadalmi feladatról van szó!*

Dr. Váradi József a Magyar Hidrológiai Társaság társelnöke, a Vízügyi Tudományos Tanács elnöke már a megoldásról is beszélt a „Miért éppen Víz a tájba? És ha igen hogyan?” című plenáris előadásában. Ám „A vízet a tájba” program sikerre viteléhez tenni is kell:

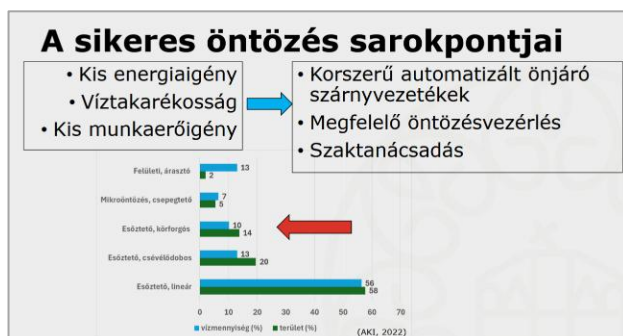
- Belvizek fogalmának újra definiálása és a vele való gazdálkodás teljes újra szervezése,
- Vízkészletezés, vízátervezések, emelt szintű vízterek létrehozása,
- Árhullámok kivezetése csatornába, tározókba, területre, üzemrend módosítás,
- Vizek és vízi létesítmények tulajdonlásának rendezése,
- A területi víz-elöntések fogadó oldali biztosítása,
- Paradigma váltás a Mezőgazdaságban és a Természetvédelemben.

Dr. Horváth Ákos, a Vízügyi Tudományos Tanács tagjának hozzászólása (*A konvektív csapadékok keletkezése és szerepe a klíma alkalmazkodásban*) segített megérteni, hogy mi is történik a fejünk felett. A Kárpát-medence légköri csapadékviszonyait 3 fő, egymásra épülő ciklus határozza meg. Az ezekben fellépő anomáliákra vezethető vissza az aszály és a nagy csapadék.

Dr. Kovács Balázs, a Miskolci Egyetem docense a felszín alatti folyamatokkal (*A felszín alatti vízkészletek változása és szerepe a klímaziliencia eléréséhez*) című előadásában rámutatott:

Dr. Kozák Péter, a Vízügyi Tudományos Tanács tagja pedig a romló környezeti feltételek közötti felszíni vizek problematikájával foglalkozott. A „Felszíni vízkészleteink változása a Tisza-völgyben, tapasztalatok, kilátások a klímaváltozás tükrében” című prezentációja a felszíni vizek esetében az eddigi eredményeken túl rámutat jövőbeli feladatainkra is, hangsúlyozva, hogy: Az előrejelzett klímaváltozási scénáriók (pl: VAHAVA) közül a kedvezőtlenebbek valósulnak meg!

Láng István, az Országos Vízügyi Főigazgatóság főigazgatója előadásában (*A vízügy konfliktusai a Vízet a tájba program teljesítése során*) az OVf által indított „Víz a tájba” program eredményeiről és



gazdálkodási gyakorlat folytatásához.

- A gazdát képezni kell
- Az öntözésfejlesztést a jó termőhelyi adottságú területekre kell koncentrálni.
- Akkor kell térítésmentesen biztosítani az öntözővizet, amikor bőségesen vannak készletek.



Gorján Ferenc, a Debreceni Vízmű Zrt. vezérigazgatója, a Magyar Hidrológiai Társaság elnökségének tagja, „A szennyvíz, mint kihasználatlan készlet. Helyzetünk és teendők” című előadásában a tisztított szennyvíz, mindeddig elfecsérelt, országos szinten 595 000 000 m³/év mennyiségben rendelkezésre álló, ám fel nem használt vízkészletének a fontosságára hívta fel a figyelmet.

Borbás Barna vízügyi szakújságíró (*Van közös válasz? Nézőpontok, érdekek a vízkérdés körül*) hozzászólásában arra a kérdésre adott választ, hogy vannak-e közös pontok. Vízkonfliktus vagy vízkonszenzus látszik-e? Hogyan áll ez az ügy a nyilvánosságban? Bár vannak viták a társadalom, a „nép” szintjén, ugyanezek a képzetek, ellentétek

konfliktusairól számolt be, hangsúlyozva, hogy a konfliktusok feloldása „nem pénzben kifejezhető, de kötelezően mérlegelendő közérdekű érték, a természet önértéke nem forintosítható”.

Dedák Dalma, a WWF környezetpolitikai szakértője a „Tájhasználatváltás lehetőségei, dilemmák” című prezentációja őszintén kimondta:

- Csak akkor lehet továbblépni a táji szintű megoldások felé, ha tisztáztuk a „kellemetlen kérdéseket”.
- Égető kérdések: a nagy folyók medermélyülését meg kell állítani, de hogyan, és milyen áron?
- Ki kell dolgozni a legjobb kompromisszumokat!
- Kombinálni kell a „szürke” és „zöld” megoldásokat.

Dr. Bíró Tibor, a Magyar Hidrológiai Társaság alelnöke, a Vízügyi Tudományos Tanács tagja „A mezőgazdaság és a vízgazdálkodás viszonya a csökkenő készletek árnyékában” című előadásában így fogalmazta meg a klímaadaptáció feltételeit a mezőgazdasági vízhasználat területén:

- Világos iránymutatás kell a mezőgazdaságnak.
- A gazdát orientálni kell!
- Vetésszerkezeti és vetésforgó előírások a termőhelyi adottságokhoz illeszkedve.
- A terményfeldolgozási kapacitásokat ehhez kell igazítani.
- A támogatásokat még jobban igazítani kell a helyes víz-

döntéshozói szinteken is megjelennek, és összeütközéseket szülnek az agrárium és a vízügy között, természetvédek és gazdálkodók között, vagy akár e csoportokon belül. Mindezek mellett csak az a lényeg, hogy a nap végén ne a magán-, hanem a közös, a közös érdek számíton.

- Fel kell gyorsítani az alkalmazkodást. Ahogy Jordán Ferenc rendszerökológus nyilatkozta: „Nem a természetnek sürgős, hanem nekünk.”
- Bármilyen országos léptékű változás csak felülről megy és csak úgy, ha a tömegeket érdekeltté tesszük benne.
- Társadalmi átgondolás kell.

Borbás Barna egy olyan Robert Baden idézettel fejezte be hozzászólását, amit talán a konferencia mottójának is elfogadhatunk:

„Igyekeztek ezt a világot kicsit jobb állapotban magatok mögött hagyni, mint ahogy találtátok!”

A konferenciát lezáró élénk szakmai vita is rámutatott arra, hogy számtalan lezáratlan kérdés, kétely és remény övezi a „Víz a Tájba Program”-ot.

A konferencián elhangzott javaslatok fontosságára való tekintettel a Magyar Hidrológiai Társaság vezetése úgy döntött, hogy a „Víz a Tájba Program” szakmai kérdéseiről a továbbiakban vitákat szervez és fórumot teremt a nézetek ütköztetésére.

A Hidrológia Közlöny örömmel tárja szélesre kapuit az építő szakmai viták előtt, teret adva a korrekt információknak, így támogatva a „Víz a Tájban” program sikerre jutását. Ezért 2026 elején egy külön számmal tiszteljük meg

olvasóinkat a témában, közreadva a konferencia előadásainak írásos anyagát. valamint a Hidrológia Közlöny a „Víz a Tájba Program”-nak dedikált Fórum rovatában folyamatosan nyomon követi a projekt fejlődését, ahol teret adunk a vitának is.

A konferencia elején néma felállással búcsúztunk Somlyódy László akadémikustól, aki november 4-én hagyott itt minket. Somlyódy professzor életét a Balaton megmentésének szentelve így írt: *A Balaton esetében szerencsés dolog volt a tudomány és a politika összefogása, közös akarata.* A feladat most ismétlődik, ha a politika felismeri vizeink létének fontosságát, akkor jól megfogalmazott pénzügyi és szabályozási eszközök rendelkezésre bocsátásával, a politika és a tudomány összefogásával, közös akarattal most is képesek leszünk a sikerre!

Hisszük, hogy a „**Víz a tájban – Klíma adaptáció konfliktusokkal**” címet hamarosan „**Víz a tájban – Klíma adaptáció eredményekkel**” címre cserélhetjük.

Dr. Váradi József

a Magyar Hidrológiai Társaság társelnöke
a Vízügyi Tudományos Tanács elnöke



Víz a tájban Fotó: Turny Zoltán

Történelmi pillanatkép

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

Faludi Gábor és a bajai Türr István-kutatás első szakasza

Albert Gábor¹

¹ főiskolai tanár, Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar, (e-mail: albert.gabor@szte.hu)

DOI: 10.59258/hk.20919



Kivonat

Jelen írás célja az egykori bajai Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum Ideológiai (majd Társadalomtudományi) Tanszékén folyó Türr István-kutatás első szakaszának bemutatása, a kutatásvezető, Faludi Gábor ezirányú tevékenységének áttekintése. A Tanszék legnagyobb méretű KK (kölségvetésen kívüli) munkáját Dégen Imre a kezdetektől támogatta, annak tartalmát az Országos Vízügyi Hivatal és a Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum Ideológiai Tanszéke között létrejött 1968. február 23-i keltezésű szerződés rögzítette. A téma historiográfiai áttekintését újabb levéltári források, a korabeli KK munkanaplók elemzése teszi lehetővé. Írásunk nem titkolt célja újabb adalékkal szolgálni Dégen Imrének a múltörzés és a bajai felsőfokú műszaki-vízügyi képzés iránti elköteleződésének igazolására. A téma időszerűségét a Türr István emlékév adja: az egykori szabadságharcos ugyanis 200 éve, 1825. augusztus 11-én született Baja városában.

Kulcsszavak

Türr István-kutatás, Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum Ideológiai Tanszéke, Faludi Gábor, Ferenc-csatorna rekonstrukciója.

Gábor Faludi and the Türr István research in Baja

Abstract

This article aims to introduce the first phase of the Türr István research conducted at the former Department of Ideology (later Department of Social Sciences) of the Baja Higher Water Management Technical School, and to provide an overview of the related activities of the research leader, Gábor Faludi. The largest extra-budgetary work undertaken by the Department was supported from its inception by Imre Dégen. Its content was formally established in a contract dated 23 February 1968 between the National Water Office and the Department of Ideology of the Higher Water Management Technical School. A historiographical overview of the topic is made possible through the analysis of newly available archival sources and contemporary extra-budgetary work logs. An additional, explicit objective of our study is to contribute further evidence of Imre Dégen's dedication to preserving historical memory and his commitment to the development of higher-level technical and water management education in Baja. The timeliness of the topic is underscored by the Türr István Memorial Year: the former freedom fighter was born 200 years ago, on 11 August 1825, in the town of Baja.

Keywords

Türr István research, Department of Ideology of the Higher Water Management Technical School, Gábor Faludi, reconstruction of the Ferenc Canal.

A BAJAI FELSŐFOKÚ VÍZGAZDÁLKODÁSI TECHNIKUM ÉS AZ IDEOLÓGIAI (TÁRSADALOMTUDOMÁNYI) TANSZÉK

Az 1961. évi III. törvény egy új, gyakorlatorientált felsőfokú iskolatípus létrehozására adott lehetőséget. Ez az új iskolatípus a felsőfokú technikum volt. Az egyetlen „vízes” képzés felsőfokú technikum keretében 1962-ben Baján kezdte meg a működését. A Magyar Forradalmi és Munkás-Paraszt Kormány az 1961. évi III. törvény alapján az Országos Vízügyi Hivatal (OVH) jogelődje, az Országos Vízügyi Főigazgatóság kezdeményezésére a 12/1962. (V.5.) sz. rendeletével alapította meg ezt az intézményt. A további átszervezésre a Kormány 1033/1970. (VIII.7.) sz. határozata alapján került sor, amely a Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum megszüntetését és a Budapesti Műszaki Egyetem (BME) szervezeti keretén belül a Felsőfokú

Vízgazdálkodási Főiskolai Kar létrehozását eredményezte (Szilávik 2022). Sikeres államvizsga után a végzett hallgatók már nem szaktechnikusi, hanem üzemmérnöki oklevelet vehettek át.

Az 1963-ban elfogadott Szervezeti és Működési Szabályzat négy tanszéket nevezett meg: az Általános és mezőgazdasági vízgazdálkodási, a Vízellátási és csatornázási, az Alaptárgyi és az Ideológiai Tanszéket (Szilávik 2022). A tanszéki struktúra 1970 után átalakult: egyrészt a tanszékek száma négyről ötre nőtt, másrészt egy-egy tanszék neve is megváltozott. Az új tanszéki szervezet az alábbi egységekből állt: Mezőgazdasági vízgazdálkodási Tanszék, Vízellátási és csatornázási Tanszék, Alaptárgyi Tanszék, Építési és gazdasági Tanszék, valamint az Ideológiai Tanszék helyébe lépő Társadalomtudományi Tanszék.

Az Ideológiai (később Társadalomtudományi) Tanszékhez a következő tantárgyak tartoztak: politikai gazdaságtan, filozófia, tudományos szocializmus, orosz nyelv és testnevelés (Czédli 1970).

Az Általános és mezőgazdasági vízgazdálkodási szak nappali tagozatán az 1960-as évek második felében a tantárgyfelosztás például az alábbiak szerint alakult: az 1967-1968. tanév I. és II. félévében a hallgatók a politikai gazdaságtant Gergely Józseftől, az orosz nyelvet Kubatov Jánostól sajátították el, míg a testnevelést Szirmai József irányította. Az 1968-1969. tanév I. félévében az orosz nyelv és a testnevelés tanítása tovább folyt, de új tárgyként filozófiát is hallgattak a növendékek. A tárgy oktatója Faludi Gábor volt. Az 1968-1969. tanév II. félévében Faludi Gábor gondozásában új stúdiumként jelent meg a politikai gazdaságtan. Ebben a tanévben még testnevelés órán is részt vettek a hallgatók (*Simó Domokos szóbeli közlése*).

FALUDI GÁBOR ÉS A TÜRRI ISTVÁN-KUTATÁS

Az Ideológiai (később Társadalomtudományi) Tanszék vezetője az alapítástól kezdve Faludi Gábor volt. Néhány vonás a Faludi-képhez saját visszaemlékezése és Keve Gábor 2023-as nekrológja segítségével! Faludi Gábor 1933-ban Békésben született egy többgyermekes, munkacentrikus családban, szerény körülmények között. Itt végezte elemi és reáliskolai tanulmányait is, majd 17 évesen a Muronyi Állami Gazdaság részlegvezetője lett. Felsőfokú végzettséget 1957-ben a Lenin Intézetben, történelem szakos diplomát 1967-ben az Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerzett, majd 1969-ben „summa cum laude” minősítéssel doktorált a Szegedi Tudományegyetemen. A Művelődési Minisztérium szervezésében két éves továbbképző szaktanfolyamokat is elvégzett: 1971-1972-ben általános szociológiát, 1972-1974-ben etikát, 1979-1980-ban vallástörténetet és valláskritikát, 1980-1982-ben pedig esztétikát tanult. A Petőfi Politikai Tisztképző Akadémia elvégzése után 1952-ben a Zrínyi Miklós Akadémia Társadalomtudományi Tanszékéhez került oktatónak, majd 1956-ban főhadnagyi rendfokozatban önként hagyta el a hadsereget. 1957 és 1958 között Budapesten betanított munkásként dolgozott, majd 1958-ban Baja városában telepedett le. 1958 és 1961 között a bajai Úttörőszövetség titkáráként, majd a bajai pártbizottság osztályvezetőjeként dolgozott (Faludi é.n., Keve 2023). Az 1960-as évek elején tevékeny szerepet vállalt a bajai Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum létrehozásában, ahol 1964-től 1993-as nyugdíjazásáig látta el oktatási feladatát. Kezdetben óraadóként, majd véglegesített oktatóként főiskolai docensi, utóbb főiskolai tanári munkakörben. A szakmai közéletben is aktívan részt vett: rendszeres szervezője volt a Dunamenti Nyár rendezvénysorozatnak, egy időben a TIT városi szervezetének elnöki feladatait is ellátta, alapító tagja lett az MHT Bajai Területi Szervezetének, majd 2000-tól az MHT Vízügyi Történeti Bizottságának (Keve 2023). Faludi Gábor Türr István munkásságával 1967-ben kezdett foglalkozni. A vízügytörténet bajai vonatkozásait Halász Rudolf egykori bajai vízügyi igazgató felkérésére nyugdíjaztatása után is folytatta. Több helyen árvíz emléktáblákat állíttatott fel, a Deák Ferenc zsilipnél álló Türr mellszobor létrehozásában pedig szintén aktív szerepet vállalt (Keve 2023, Faludi é.n.).



1. kép. Dr. Faludi Gábor (Keve Gábor gyűjteménye)

Photo 1. Gábor Faludi (Gábor Keve's collection)

A bajai Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikumban már a kezdetektől fogva nagy figyelmet fordítottak az ún. KK (költségvetésen kívüli) munkákra. Az Ideológiai Tanszék legnagyobb mértékű KK munkája a bajai Türr István kutatás volt, melynek részleteit az Országos Vízügyi Hivatal és a Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum Ideológiai Tanszéke között létrejött 1968. február 23-i szerződés tartalmazta. Ennek alapján az Ideológiai Tanszék 1968. december 1-i teljesítési határidővel „*Türr István munkásságának történeti és gazdasági feltárása*” című tanulmány elkészítését vállalta.

Az OVH László Ferenc főosztályvezetőt jelölte ki konzulensnek. A kijelölt konzulens Dégen Imre szűk, bizalmi körköréhez tartozott, így Dégen elsőkézből tájékozódhatott a kutatás minden lépéséről (*Halász Rudolf szóbeli közlése*). Az Ideológiai Tanszék keretében induló munka „*jól kapcsolódott a felsőfokú intézmény szakmai profiljához és Baja város történetéhez is.*” – emlékezett vissza a kutatócsoport vezetője (Faludi é.n.).

A kutatásban Faludi Gábor mellett, Kubatov János és Gergely József tanszéki munkatársak is részt vettek, a gépelési feladatokat Török Éva látta el, tudjuk meg a korabeli KK munkanaplókból. E munkanaplók részletesen rögzítették az anyagválogatással, gyűjtéssel és tanulmányozással kapcsolatos feladatokat, a fontosabb szakmunkákat, a levéltári, könyvtári és múzeumi kutatómunkát, valamint a lényeges konzultációkat. Faludi Gábor például feldolgozta Gonda Béla műegyetemi magántanár Türr monográfiáját, mely Baja város közönsége kiadásában 1925-ben jelent meg, továbbá Majtényi Mihály „*Élő víz*” című 1967-es kötetét (Majtényi 1967, Faludi 1967). A szerző a Ferenc-csatornával kapcsolatosan több történeti-szociográfiai kötetet is jegyzett. Kubatov János Bács-Bodrog vármegye egyetemes monográfiája I. kötetéből a Türr Istvánnal összefüggő részeket tekintette át, de áttanulmányozta Stefania Türr apjáról olasz nyelven 1903-ban írt könyvét is (Türr St. 1903;

Kubatov 1967). Gergely József főként közgazdasági szakmunkákat dolgozott fel, továbbá levéltári mikrofilmanyagokat válogatott (Gergely 1967).

A források kiválasztásában neves szakemberek támogatták a kutatócsoportot. Pécssett, a bajai levéltár egykori vezetője Kopasz Gábor, az Országos Levéltárban Iványi Emma főlevéltáros, a bajai múzeumban Solymos Ede, a bajai Türr István Múzeum egykori igazgatója segítette az adatgyűjtést. A támogatók szakmájuk jeles képviselői is voltak. A Mályusz Elemér-tanítvány Iványi Emma a történettudományok kandidátusa volt és referensként az 1848-1849 utáni emigráció iratainak rendezésével is foglalkozott. Solymos Ede neves néprajzkutató-történészként vált ismertté.

Faludi és munkatársai Türr István életművének eredeti, addig feltáratlan és publikálatlan dokumentumait is összegyűjtötték, mely emelte a kutatómunka értékét. A Magyar Országos Levéltárban feldolgozták a Türr-iratokat, Türr István tervezeteiből, beszédeiből rendszeresen idéztek is munkájuk során (Türr 1871, 1875, 1879, 1880, 1881, 1897, l. Faludi 1974).

A kutatócsoport tagjai többször jártak a Műegyetemi Könyvtárban, a VITUKI Könyvtárban és többször konzultáltak László Ferencsel és P. Károlyi Zsigmonddal is (Faludi 1967). A konzulensek kiválasztása tudatos, megfontolt kutatói magatartást sejtet. P. Károlyi Zsigmond „*A vízhasznosítás, vízépités és vízgazdálkodás története Magyarországon*” címmel 1960-ban megjelent korszakos munkája külön fejezetet szánt ugyanis Türr István csatornáért folytatott harcának (Károlyi 1960). P. Károlyi Zsigmond gazdag forrásanyagra támaszkodva írt Türr tevékenységéről, hivatkozva Gonda Béla Türr Istvánról szóló alapművére (Gonda 1925) és Türr Istvánnak a „*Gazdasági Mérnök*” c. korabeli lapban megjelent számos írására is. P. Károlyi munkájánál felhasználta a Ferenc-csatorna tárgykörébe tartozó kutatásokat, így Andrássy Gyula „*A Ferencz-csatorna*” címmel, a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönyében megjelent írását, és – bár a „*csatornák és vasutak harcának*” feltárását a P. Károlyi a jövő feladatának tekintette – a témába vágó első szakmunkákat, így Herrich Károly (aki a Tisza-szabályozás 1850-1879 közötti vezetőjeként ismert a vízügyi történelemben) 1882-es írását is beépítette a Türr Istvánról szóló fejezetbe (Andrássy 1878, Herrich 1882). Kubatov János munkanaplója – bár pontos bibliográfiai adatok nélkül – de említette Károlyi Zsigmond tanulmányozását, Faludi pedig a Földrajzi Közleményekben megjelent írásában hivatkozott is a Dégen-korszak közismert vízügyi történetírójának kötetére.

Dégen Imre támogatta a külföldi forráskutásokat is, tudjuk meg a kutatásvezető visszaemlékezéséből (Faludi é.n.). Faludi Gábor az OVH szolgálati útlevelével ugyanis Szabadkára, Zomborba, Verbászra és Újvidékre is ellátogatott. Jugoszláviai kutatásait Süli Endre, a szabadkai mérnökiskola mérnöktanára segítette. Külföldi tanulmányútja során Faludi találkozott Majtényi Mihállyal. Hozzá Balogh Gyula mérnök, a Ferenc-csatorna nyugalmazott igazgatója társaságában utazott el. Mind Majtényi, mind Balogh visszaemlékezései tovább gazdagították a korábbi Türr-kutatások eredményeit. A szerbiai levéltári munkában Faludit a Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum orosz tanára Kubatov János segítette (Halász Rudolf szóbeli közlése).

A TÜRRE-KUTATÁS ELSŐ EREDMÉNYEI

Az első adatfeltárásokat Faludi Gábor és Kubatov János a Vízgazdálkodásban, a Vízügyi Közleményekben, a Pedagógiai Szemlében, a Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum Közlemények kiadványában, a Tudomány és Mezőgazdaságban és a Földrajzi Közleményekben összegezték (Faludi 1968a; Faludi és Kubatov 1975, 1976; Faludi 1975; Kubatov 1970; Faludi 1970; 1969, 1974). Faludi Gábor erről évtizedekkel később visszaemlékezésében némi keserűséggel így írt: „Ezekben az országos folyóiratokban évtizedekkel ezelőtt megjelent írások Baján alig ismertek.” (Faludi é.n.).

Az első írások átléptek a diszciplináris kereteken és a tanulmánycímek azt jelzik, hogy ezek a munkák már összegző, értékelő jelleggel születtek meg. Faludi Gábor írásaiban a bajai születésű Türr István életrajzának fontosabb mozzanatait is rendszerezte. Ezek szerint Türr a nemzetközi hírnevét az olasz nép 1848-as szabadságharcában, majd Garibaldi katonájaként az egységes Olaszország megteremtéséért folytatott harcban alapozta meg. Később Angliában tőzsdeügynökként dolgozott és szerzett pénzügyi-közgazdasági ismereteket. A krími háború idején az angol és az olasz kormány megbízásából diplomáciai küldetést látott el. Konstantinápolyi tartózkodása mérőföldkő Türr életében: itt ismerkedett meg Ferdinand de Lesseps francia mérnökkel és a magyar emigráció számos tagjával. 1861-es házassága révén nemcsak a francia uralkodóházzal került közvetlen kapcsolatba, de e házasság megnyitotta a kapukat a befolyásos európai politikai-diplomáciai körök világába is. Az 1867-es kiegyezés amnesztia lehetőségével élve visszatért Magyarországra és az ország gazdasági felemelkedése érdekében komplex vízgazdálkodási koncepciókat dolgozott ki (Faludi 1968a).

Faludi Türr Istvánt Széchenyi munkásságával állította párhuzamba. Széchenyihez hasonlóan ugyanis Türr István is külföldi tapasztalatokra támaszkodva akarta az ország fejlesztését előmozdítani. „*Elemezte a francia, az indiai, az angol, olasz és amerikai tapasztalatokat, a holland védműveleteket, a magyar folyószabályozás korábbi történetét. Mind a külföldi, mind a korábbi hazai tapasztalatokat az illetékes vezető szervek és a közvélemény figyelmébe ajánlotta olyan összehasonlításokkal és következtetésekkel, amelyek a konkrét magyar viszonyoknak felelnek meg.*” – olvashatjuk Faludi egy későbbi, 1987-es írásában (Faludi 1987).

Türr mindent nemzetközi összehasonlításban mért. Két példa kívánczik ide, mindkettő Türr István 1881. május 4-én a Gazda-Körben a hazai vízügyről tartott előadásából származik, melyre Faludi hivatkozott is.

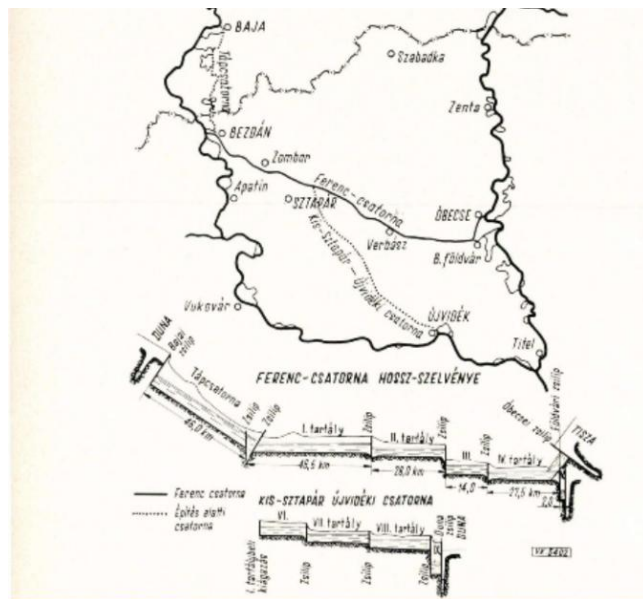
Ebben a beszédében Türr méltatta Kvassay Jenőt és az általa kiépített hazai kultúrmérnöki intézményt. Kezdetben viszont Kvassay is csak félénken mert hozzányúlni a levezető árkok építéséhez és az alagsóvezetéshez. Mikor látta, hogy ez a dolog megy, nagy kedvvel folytatta a munkát. – összegezte ezzel kapcsolatos gondolatait Türr. De a kultúrmérnökök száma Lombardiával nem összehasonlítható: „*Nem rég beszéltem a kereskedelmi miniszterrel, a ki nekem nagy garral mondta, hogy most már van 14 culturmérnök. Igen természetes, hogy én meg azt mondtam, hogy*

Lombardiában van vagy 500, és hogy ha majd 100 lesz, tessék velem beszélni.” (Türr 1881).

Az 1879-es szegedi árvíz katasztrófa kapcsán pedig Türr a kínai árvédekezés hatékonyságára hívta fel a figyelmet. A kínaiak az árvíz által veszélyeztetett városokat körgáttal vették körül, melyek segítségével a veszélyeztetett várost szigetté változtatták.

Türr István a hiteléletéről, a csatornaépítésről, a vízi közlekedés fejlesztéséről, az öntözésről, az utakról, a magyar mezőgazdaság létfontosságú problémáiról írt vagy tartott előadásokat.

Erős patriotizmusa is befolyásolta, amikor hazatérve 1868-ban Sayn francia, majd 1869-ben Pietro Caramorra olasz mérnökkel beutazta az egész Bácskát, olvashatjuk Faludi 1974-es írásában. A Ferenc-csatornát (a Duna-Tisza csatornát) még Kiss József és fivére, Kiss Gábor mérnökök tervezték és építették meg 1793 és 1802 között. Türr István legnagyobb teljesítménye – melyet íásaiban Faludi is jelentősnek ítél – a XIX. század második felében megvalósuló Ferenc-csatorna rekonstrukciója, valamint az új, 46 km hosszú Baja-Bezdan közötti tápcsatorna és a Ferenc-csatornát a Dunával dél felé összekötő 68 km hosszú Sztapár-Újvidék közötti öntöző-hajózó csatorna megépítése volt (Faludi 1987).



2. kép. A Ferenc-csatorna, a Baja-Bezdan tápcsatorna és Kis-Sztapár-Újvidéki öntözőcsatorna térképe (Faludi 1975)

Photo 2. Map of the Ferenc Canal, the Baja-Bezdan Feeder Canal and the Kis-Sztapár-Újvidék Irrigation Canal (Faludi 1975)

A Ferenc-csatorna rekonstrukciójára és bővítésére irányuló koncepciót Türr 1881. május 4-én a Gazda-Körben ismertette. Mivel Faludi a Földrajzi Közleményekben hivatkozott is erre az előadásra, e sikeres vízgazdálkodási koncepció lényegét Türr István 1881-es előadása alapján mutatjuk be.

Türr egyrészt méltatta a Kiss testvérpár munkáját. Mint írta, a Ferenc-csatorna sok bajt gyógyított meg, hiszen 1804-re 160 ezer holdnyi mocsarat távolított el. A Ferenc-csatorna rekonstrukciója és bővítése a XIX. század második felében két célt szolgált. Egyrészt Duna és a Tisza közti csatorna a vasútnál olcsóbb víziközlekedést biztosított, másrészt a Kis-Sztapár és Újvidék közötti öntözőcsatorna jobb minőségű gabona (búza) termelését tette lehetővé, amely az amerikai és orosz gabonával való verseny miatt vált fontossá. Bács megye ugyanis kiváló termőföldjéről ismert, és az Osztrák-Magyar Monarchia élelmiszerraktárának számított. Előadásában Türr részletesen felvázolta az amerikai gabona európai jelenlétének a magyar mezőgazdaságra nézve hátrányos következményeit. Texas hozta példának, mely kétszer nagyobb területen fekszik, mint Franciaország. Texasnak akkor mintegy 2 millió lakosa volt, de ez a lélekszám Türr szerint hamarosan eléri a 40 milliót. Texasban a búzát már májusban aratják és az Atlanti óceánon át gyorsan eljut Európába. A szeptemberi texasi kukoricatermés szintén elárasztja Nyugat-Európát.

A Ferenc-csatorna rekonstrukciója és bővítése tehát a versenyképesség megőrzése miatt is jelentős eredményként értékelhető. Türr István az idézett beszédében a Bácska nemzetgazdasági jelentőségét is hangsúlyozta: „A különbség az akkor és most közt az, hogy ott, hol hajdan 'piscis' volt, ma búzaföld van, még pedig igen jó, és hogy Bács megye ma több adót fizet egyedül, mint egész Horvátország.” (Türr 1881). Mindez igazolja Türr István közgazdasági alapozottságú komplex vízgazdálkodási szemléletét, progresszív gondolkodását.

Faludi Gábor és Kubatov János Türr István kulturális-népművelési kezdeményezéseiről is írtak. Türr reménykedőnek ítélte meg az Eötvös József nevéhez kapcsolódó 1868: XXXVIII. törvénycikket, mely 6 és 12 éves életkor közötti gyermekek számára írta elő a kötelező iskolába járást. Ezen felbuzdulva Türr hozzálátott a felnőttek oktatását és nevelését célzó ún. „népnevelési szövetség” létrehozásának. Úgy gondolta, hogy elsősorban a 14 és 30 év közötti életkorúaknak kell az oktatást biztosítani. 1868-ban Türr István ezért kezdeményezte a bajai népművelési kör megalakítását, melynek alakuló ülésén a Városháza nagytermében összegyűlt hallgatóságnak Czirfusz Ferenc és Vidovits Bonaventura tartottak előadást (Kubatov 1970). Ilyen népművelési köröket ugyanakkor más városokban (pl. Kecskeméten vagy Szabadkán) is létrehoztak. 1870-ben Budapesten Türr István elnökletével pedig létrejött a Központi

Népoktatási Kör (Faludi 1968a). Türr István a felnőttképzés terén mintegy másfél évtizedig fejtett ki aktív tevékenységet. Fontosnak tartotta a tudomány és kultúra széles körben való népszerűsítését is. Ezért alapította meg a Corvina Társulatot, mely több mint 30 kiadvány megjelentetésével széles néprétegek számára elérhető áron biztosította a tudományhoz és kultúrához való hozzáférést. A kiadványok a későbbi népkönyvtárak létrehozását is megalapozták. Az 1870-es években Trefort Ágoston vallás-és közoktatásügyi miniszter által támogatott bizottság – melynek elnöke Türr István lett – a népkönyvtárak megszervezésével foglalkozott (Kubátov 1970).

Faludi Gábor korai írásaiban Türr István munkásságának reális értékelésére törekedett, kiemelve az egykori bajai szabadságharcos érdemeit és kudarcait is.

A bajai tanszéki kutatócsoport vizsgálati eredményeire alapozva megállapíthatjuk, hogy Türr István nemzetközi látókörrrel rendelkezett, tetteit közgazdasági szemlélete határozta meg. Célja az volt, hogy a hitel, - a pénz, - és az adópolitikát, valamint a vízgazdálkodást a mezőgazdasági termelékenység növelése és a hazai mezőgazdasági termékek (elsősorban a gabona) versenyképességének biztosítása szolgálatába állítsa (Faludi 1975).

Ugyanakkor sokszor meddő harcot vívott a hazai bürokratizmussal, korrupcióval, a közönyösséggel, sőt a kormányzati törekvésekkel szemben is. Míg Nyugat-Európában a polgári fejlődés korában a vasútépítés előtt nagy csatornázási munkálatokat végeztek, nálunk a vasútépítés teljesen háttérbe szorította a vízi közlekedést, a teljes hajózható csatornarendszer kiépülését. A kormány is nagy erővel támogatta a vasútépítés ügyét. Bár ezek a körülmények Türr Istvánban tovább erősítették az egész országot átfogó hajózható csatornák kiépítésének gondolatát, igazi sikert csak a Ferenc-csatorna fejlesztése és bővítése terén tudott elérni (Faludi 1987).

ZÁRÓGONDOLATOK ÉS TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

Jelen írás célja a Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum Ideológiai Tanszékén kezdődő Türr István-kutatás első szakaszának áttekintése volt.

A vízügyi ágazat támogató légkört biztosított. Ismert, hogy Dégen Imre a szaktörténeti kutatások jelentőségét nagyra értékelte, a vízügyi szakma nagy elődeit példának állította. A Magyar Hidrológiai Társaság szervezetén belül, 1973. májusában alakult meg a Vízügyi Történeti Bizottság, mely intézményesítette a történeti kutatásokat. De a hazai hidrológusok, műszaki szakemberek e Bizottság megalakulását megelőzően sem voltak közömbösek a szaktörténet-írás kérdései iránt, ahogyan azt 1973-ban Lászlóffy Woldemár egyik írásában megjegyezte (Lászlóffy 1973). A geodézia és térképészet-történet jeles kutatója, Bendeffy László az 1960-as években az Országos Levéltár gyűjteményében található kézíratos vízrajzi térképek kutatását irányította (Fejér 2001). A gazdaság-és technikatörténész, P. Károlyi Zsigmond a Vízgazdálkodás folyóiratban a „Vízügyi eseménynaptár” rovatot szerkesztette, rendszeresen írt a nagy elődokról vagy a jeles vízügyi eseményekről. Dégen Imre 1967-ben a VITUKI-n belül egy vízügytörténeti kutatócsoport szervezésével is megbízta P. Károlyi Zsigmondot, mely kutatások eredményeként jelent meg a P. Károlyi Zsigmond által szerkesztett, részben

írt Vízügyi Történeti Füzetek című kiadványsorozat. Schmidt Eligius Róbert bányamérnök a hazai hévíztörténetet kutatta, és Lászlóffy Woldemár maga is kiemelt figyelmet fordított a hidrológia történetének vizsgálatára. Dégen Imre hivatali működése alatt jött létre a Magyar (1988-tól Környezetvédelmi és) Vízügyi Múzeum, közismert nevén a Duna Múzeum, valamint a Vízügyi Levéltár (ma Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltár) is. A Dégen-korszak történeti kutatásait a bajai Türr István-kutatás tovább gazdagította.

Dégen Imre nemcsak támogatta a történeti kutatásokat, de beszédeiben, vagy írásaiban előszeretettel citált is történelmi példákat, utalva e történeti kutatások eredményeire, jelentőségére. 1968. augusztus 4 és 17-e között az Országos Vízügyi Hivatal (OVH), a Tudományos Ismeretterjesztő Társulat (TIT) és a területileg illetés tanácsai szervek közös szervezésében tartották meg Baján a Dunamenti Nyár című rendezvénysorozatot (Faludi 1968b). A bajai rendezvény központi témája, – Baja város vízvárosi jellegéből adódóan – a vízügy volt. 1968. augusztus 6-án Ortutay Gyula, a TIT elnöke, Baja város országgyűlési képviselőjének megnyitója után Dégen Imre tartott előadást, ahogyan azt a konferencia jegyzőkönyvéből megtudjuk (Dégen 1968). Dégen Imre előadása nem szükkölködött a történelmi példákban. Beszédében részletesen kitért Baja történeti múltjára, és hangsúlyozta a bajai születésű Türr István munkásságát is. Türr István méltatását egyrészt a háziga bajiak felé tett udvarias gesztusként értékelhetjük. Türr István tevékenységeinek részletes ismertetése ugyanakkor azt is jelzi, hogy Dégen alaposan felkészült a Türr István életműből és nyomon követte az OVH által támogatott bajai Türr István-kutatást is. „*Türr István az 1848/49-es szabadságharc legendás híré hősé – akinek tiszteletére épített emlékmű képe díszíti a Vízgazdálkodási Napok programfüzeteit is – nemcsak a háborús, de a békés küzdelmek hősé is volt. Nevéhez fűződik a Ferenc-csatorna helyreállítása, a Baja-Bezváni csatorna építése, a Panama -és a Korinthusi-csatorna építésének gondolata, a Sztapár-Újvidéki öntöző-csatorna létesítése.*” – hangsúlyozta előadásában. Végezetül Dégen azonosult is Türr István komplex vízgazdálkodási szemléletével, progresszív vízgazdálkodási koncepcióival, tevékenységével, melynek „*középpontjában a hitelpolitika, a mezőgazdaság, a közlekedés és a vízgazdálkodás egysége állott*”. Nem véletlen, hiszen Dégen Imre munkáiban (és egész gondolkodásában) a közgazdasági és ökológiai szempontok hangsúlyozottan jelentek meg.

Ismert tény az is, hogy az OVH első embere és munkatársai elvülhetetlen érdemeket szereztek a bajai Felsőfokú Vízgazdálkodási Technikum beindításában és szakszerű működtetésében. Az OVH szakembereinek folyamatos jelenléte a záróvizsga bizottságokban, az eszközbeszerzésekben való segítségnyújtásuk vagy az R-10-es számítógéppont 1974-es üzembe helyezése mind-mind az ágazat első emberének és apparátusának a bajai felsőfokú vízügyi képzés iránti elköteleződését bizonyítja.

Jelen írásnak nem volt célja az 1960-as években kezdődő kutatás későbbi folytatásának bemutatása. A Türr István-kutatás ugyanis Faludi Gábor nyugdíjazása után akkor kapott új lendületet, amikor Halász Rudolf akkori bajai vízügyi igazgató vízügytörténeti kutatásokkal bízta meg az egykori tanszékvezetőt. A Türr-kutatás rendszerváltás utáni

folytatása a bővülő publikációk és előadások mellett már konkrét város-és műemléktörténeti jelentőséggel is bír. Ennek részletes ismertetése további kutatómunkát igényel.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a Nemzeti Közzolgálati Egyetem Vízudományi Kar támogatásával készült.

IRODALOMJEGYZÉK

1868. évi XXXVIII. törvénycikk a népiskolai közoktatás tárgyában

1961. évi III. törvény a Magyar Népköztársaság oktatási rendszeréről

12/1962. (V. 5.) Korm. rendelet a felsőfokú technikumokról

1033/1970. (VIII.7.) sz. Kormányhatározat

Andrássy Gy. (1878). A Ferencz-csatorna. MMÉEEK. 12. évf. 1. sz. 1-30.

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

Dégen I. (1968). Előadás. In. Jegyzőkönyv az 1968. augusztus 6-án Baján megtartott „Dunamenti Nyár” konferenciáról. Dégen hagyaték. KVL XXXI. 5. c. OVH iratok 4. Beszéddek, előadások 1967-1968

Faludi G. (1967). KK munkanapló. NKE VTK VIII. 91. 27. d.

Faludi G. (1968a). Gondolatok Türr István értékeléséhez. Vízgazdálkodás. VIII. évf. 3. sz. pp. 68-70.

Faludi G. (1968b). Tudományos vízgazdálkodási napok Baján. Vízgazdálkodás. VIII. évf. 5. sz. pp. 159-160.

Faludi G. (1969). Gondolatok Türr István értékeléséhez. Tudomány és Mezőgazdaság, VIII. évf. 1. sz. pp. 99-101.

Faludi G. (1970). Türr István és a magyar vízgazdálkodás. FVT Közlemények 3. 1970. Baja.

Faludi G. (1974). Vázlat Türr István vízgazdálkodási nézeteiről. Földrajzi Közlemények. XXII. (XCVIII.) kötet. 3. sz. pp. 240-243.

Faludi G. (1975). Türr István születésének 150. évfordulójára. Vízügyi Közlemények. 57. évf. 4. füzet. pp. 463-474.

Faludi G. (1987). Türr István és a magyar vízgazdálkodás. Honismeret. XV. évf. 1. sz. pp. 41-43.

Faludi G. (é.n.). Életút. Kézirat.

Faludi G., Kubatov J. (1975). 150 éve született Türr István. Vízgazdálkodás. XV. évf. 6. sz. pp. 197-202.

Faludi G., Kubatov J. (1976). 150 éve született Türr István II. Vízgazdálkodás. XVI. évf. 1. sz. pp. 22-27.

ASZERZŐ



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

Fejér L. (szerk.) (2001). Vizeink Krónikája. VMLK, Budapest, 2001.

Gergely J. (1967). KK Munkanapló. NKE VTK VIII. 91. 27. d.

Gonda B. (1925). Türr tábornok. Kiadja Baja város közönsége. Budapest.

Herrich K. (1882). A csatornák és vasutak harca. Gazd. Mérnök, 6. évf. 21. sz. pp. 205-208.

Károlyi Zs. (1960). A vízhasznosítás, vízepítés és vízgazdálkodás története Magyarországon. Műszaki Tudománytörténeti Kiadványok, 13. szám. Tankönyvkiadó. p. 322.

Keve G. (2023). Dr. Faludi Gábor. Békés, 1933. március 8. – Baja, 2023. március 8. Hidrológiai Közöny. 103. évf. 2. sz. pp. 79.

Kubatov J. (1967). KK munkanapló. NKE VTK VIII. 91. 27. d.

Kubatov J. (1970). Türr István és a magyar felnőttoktatás kezdetei. Pedagógiai Szemle. 20. évf. 12. sz. pp. 1142-1149.

Lászlóffy W. (1973). A Magyar Hidrológiai Társaság Vízügyi Történeti Bizottsága. Hidrológiai Tájékoztató. 1973. pp. 15-17.

Majtényi M. (1967). Élővíz. Magvető Kiadó. Budapest.

Szlávik L. (2022). A bajai vízügyi felsőoktatás 60 éve (1962-2022). A Nemzeti Közzolgálati Egyetem Vízudományi Kar kiadványa. Felelős kiadó: Dr. Bíró Tibor dékán.

Szöbéli közlés - dr. Halász Rudolf. Baja, 2024. június 14.

Szöbéli közlés - Simó Domokos. Baja. 2024. szeptember 18.

Türr I. (1871). Tervezet a Ferenc-csatorna helyreigazítása és a Kis-Sztpártól Újvidékig újból ásandó csatornáról.

Türr I. (1881). Beszéde a vízügyről. Athenaeum, Budapest.

Türr I. (1879). Türr tábornoknak 1879. november 23-án tartott beszéde a víziutakról

Türr I. (1897). Türr I. 1897. évi március hó 23-án az új városház termében tartott beszéde (vízszabályozás)

Türr I. (1880). Az amerikai közlekedési hálózat és gazdasági gépek befolyása a termelésre. Budapest.

Türr I. (1875). A csatornázási ügy Franciaországban. Budapest.

Türr St. (1903). L'Opera de Stefane Türr nel risorgimento italiano (1848—1870) Vol. 2. Roma, Fozzano

Történelmi pillanatkép

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

A budai Vár Fortuna utca 21. számú épület barlangpincéjének vízgyűjtő medencéje, kútja és az ott lévő fa vízcső

Szabó Balázs¹

¹ Óbudai Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Építőmérnöki Intézet, Geotechnikai és Tartószerkezeti Tanszék
(e-mail: szabobalazs1980@gmail.com)

DOI: 10.59258/hk.20920



Kivonat

A budai Várban a Fortuna utca 21. számú épületből nyíló barlangpincében 2019-ben észrevettük, hogy az üreg délnyugati sarkában lévő vízgyűjtő medencéből a padló alatt egy facső vezet az üreg északkeleti részébe. A facső egy egykori kút helyére vezet mely azóta már egy II. világháborús óvóhely vasbeton vészkijáratává lett átépítve. A facsövet azért helyezhették ebbe az igen nedves barlangpincébe, hogy a ciszternából az egykori kútba vezesse a vizet. A facső hossza 6 méter, külső átmérője 24 cm, belső átmérője 10 cm. Még ugyanabban az évben mintát vettünk belőle és Grynaeus András dendrokronológiai vizsgálata alapján kiderült, hogy a vörösfenyő farönköt 1693-ban vághatták ki a Duna felső folyásánál. Ehhez hasonló fa vízcsöveket gyakran használtak a középkorban hazánkban és több országban is melyekből néhányat jelen tanulmányban bemutatok. Vélhetően a csövet a törököktől visszavett romos, újjáépítendő budai Vár vízellátásának gyors helyreállítása miatt helyezték ehhez a közkúthoz. Ehhez hasonló nagy vízáadó képességű közutak néhány helyen még lehettek a Várban, melyek ugyancsak bemutatásra kerültek.

Kulcsszavak

Budai Vár, pince, barlang, barlangpince, vízgyűjtő medence, ciszterna, kút, facső, fa vízcső, dendrokronológiai vizsgálat.

The water cistern, well and wooden water pipe of the cave cellar of the building at 21 Fortuna Street in Buda Castle

Abstract

In the cave cellar opening from the building at Fortuna Street 21 in Buda Castle, we noticed in 2019 that a wooden pipe leads from the water collector in the southwest corner of the cave to the northeast part of the cave under the floor. The wooden pipe leads to the site of a former well, which has since been rebuilt into a reinforced concrete emergency exit for a World War II shelter. The wooden pipe may have been placed in this very damp cave cellar to conduct water from the cistern to the former well. The wooden pipe is 6 meters long, has an outer diameter of 24 cm, and an inner diameter of 10 cm. We took a sample from it that same year, and based on the dendrochronological examination of András Grynaeus, it turned out that the larch log could have been cut down in 1693 in the upper reaches of the Danube. Similar wooden water pipes were often used in the Middle Ages in our country and in several other countries, some of which I will present in this study. The pipe was probably placed near this public well to quickly restore the water supply to the ruined Buda Castle, which had been taken back from the Turks and was to be rebuilt. There were still public wells with similar high water-supply capacity in a few places in the Castle, which I also tried to present.

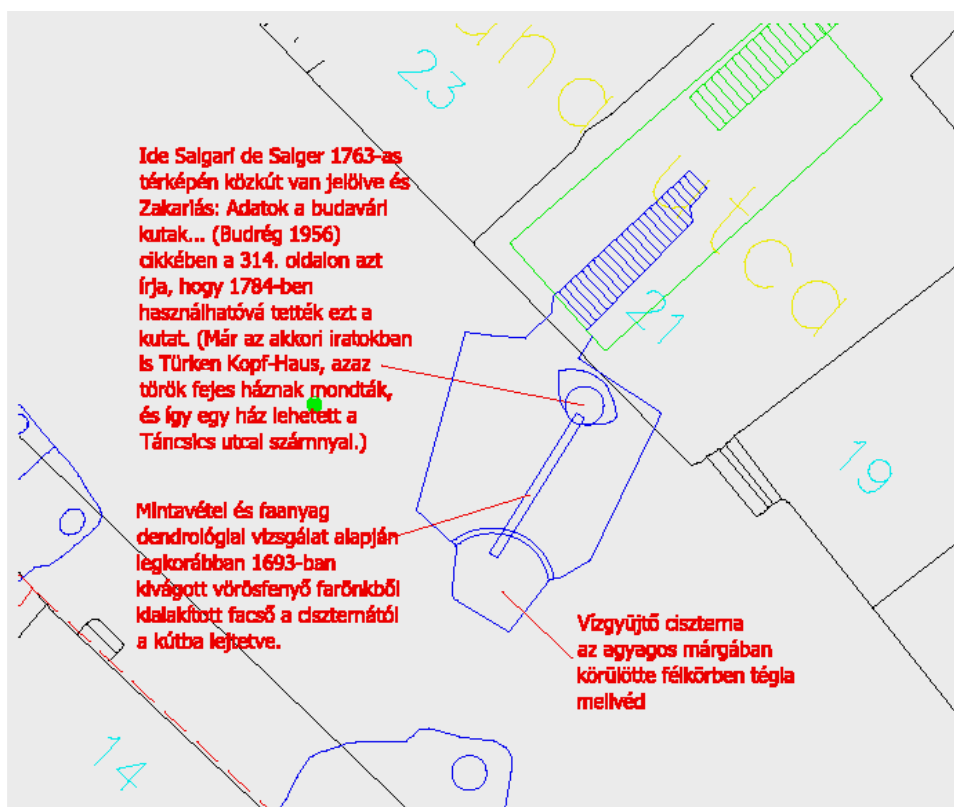
Keywords

Buda Castle, cellar, cave, cave cellar, watershed, cistern, well, wooden pipe, wooden water pipe, dendrochronological study.

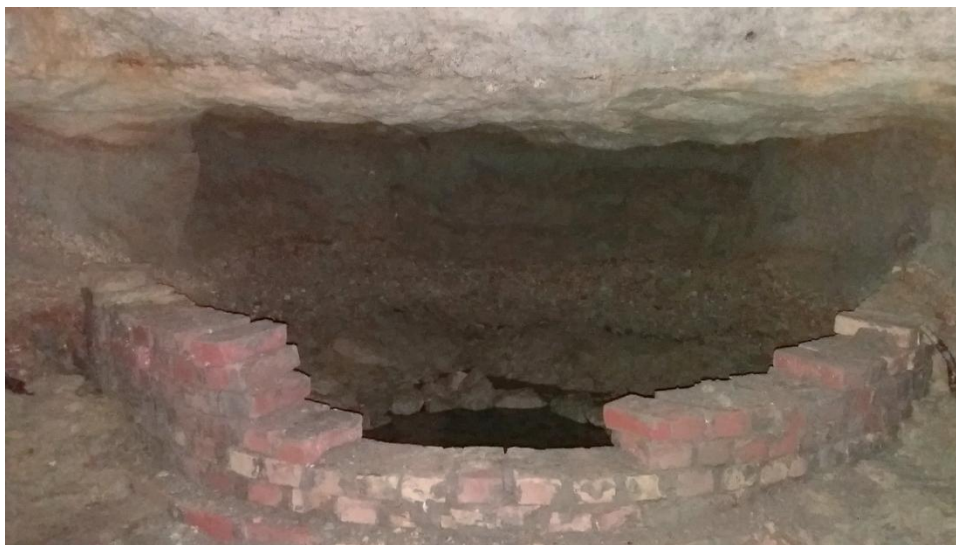
BEVEZETÉS

1999 óta kutatom a budai Vár földalatti tereinek kiterjedését, kialakulását. 2019-ben voltam lent először a Fortuna utca 21. barlangpincéjében. Ez a pince is nagyon hasonlít a várban nagy számban megtalálható, szinte az összes lakóházhoz tartozó barlangpincéhez (*1. ábra*). A barlangpince az alsó pincéből nyílik és az utca alá nyúlik a mészkőpaplan alatt és a budai agyagos márgába van vájva. Az épület alatt egy háromszintes pince- és barlangrendszer található. Az épület alatt található pince egy nagy belmagasságú középkori tér, amelyet az újkorban kétszintessé alakítottak, tengelye merőleges az utcára. Az alsó pince padlójából egy vízszintes csapóajtó felemelése után nyílik egy hosszú, kőbe vájt lépcsősor, amely levezet az utca alatti nagyméretű barlangpincébe. Az északkeleti részében, a

ház homlokzati vonala előtt a mai járda alatt, régebben kút és felette kürtő nyúlt a felszínig. A kút ma már nem látható és a felette lévő kürtőt is átépítették. (A kutak mindig a barlangpince padlójából nyíltak, míg pontosan felettük a barlangpince és a felszín közötti részt akának vagy kürtőnek nevezzük.) A barlangpince délnyugati sarkában egy mélyedésben vízgyűjtő medencét alakítottak ki, feltételezhetően a 17. század végén (*1. fotó*). A barlangpincében lévő vízgyűjtő medence, ami pontosan az utca közepe alatt található, egy 2,5-3 méter átmérőjű, nagyjából fél méter mély mélyedés, melyben áll a sziklán átszivárgó víz (*FÖMTERV 1953*). A várban található barlangpincék természetesen nedvesek, de ez az átlagnál jóval nedvesebb, vizezebb. Az édesvízi mészkő főtéből sok helyen csepeg a víz. (Főtének a földalatti terek mennyezetét nevezzük.)



1. ábra. A Fortuna utca 21. barlangpince alaprajza a Kadić felméréseit felhasználva (szerző rajza)
Figure 1. Floor plan of the 21st cave cellar on Fortuna Street using Kadić surveys (author's drawing)



1. fotó. A barlangpincében lévő vízgyűjtő medence délnyugat felé fotózva (szerző felvétele 2019. 05. 19-én)
Photo 1. The water cistern in the cave cellar photographed looking southwest (author's photo in 2019. 05. 19.)

A BUDAI VÁR FÖLDTANA

A budai Várhegy várfalakkal határolt felülete tanúhegyként emelkedik ki a Duna és az Ördög-árok által vágott völgyek között. A budai Várhegy fő alkotó eleme a közel 40 millió éves budai márga, ami tengeri üledékből képződött. Ez az agyag és mészkő között átmenetet képező kőzet jó teherbíró képességű - mindaddig, amíg meteorológiai hatások (víz, szél, stb.) nem érik. Víz hatására (a mészkő kioldódása következtében) elveszti állékonyságát, teherbíró képessége jelentősen csökken. Eerre a rétegre, legalább 30 °C fokos hévizek feltörése révén 3-8 méter vastag mészkőpaplan rakódott a pleisztocén korban. Ez a mészkőpaplan védte meg a márgát az időjárás hatásaitól való

lepusztulástól. A Várhegy északnyugati részén a budai márgán kavics és finomabb szemcséjű meszes homok található. Ez a kőzet az Ős-Ördög-árok néhány százezer évvel ezelőtti üledéke. A márgát tehát (maximum néhány méteres vastagságban) sokfelé kavics, illetve finomabb szemű (meszes-homokos) folyóvízi üledék fedi. A mészkőpaplan rendkívül porózus. A csapadékvíz és a közművesztések nagyon gyorsan áthatolnak rajta. Ennek megfigyelésére számos alkalommal nyílt lehetőségünk. Például a Tárnok utcai szökőkút esetén, melyből napjainkban is folyamatosan szivárog a víz és az alatta lévő barlangpincében igen gyorsan megjelenik. Vagy a Tárnok utcában az általános iskola előtti tűzcsap alatt, melyből egy építkezés

során ideiglenesen vizet vételeztek. A tűzcsap elzárásakor alatta, a barlangpince szinten mindig megjelent a víz, mivel a tűzcsapok elzárásuk esetén a bennük lévő vizet a föld alá eresztik fagyvédelmük miatt. A legalsó szinten elhelyezkedő, már említett budai agyagos-meszes márga magas agyagtartalma miatt sokkal lassabban engedi át a vizet. Ezért állhat elő az az eset, hogy a budavári barlangpincékben lévő kutakban a Duna folyam aktuális vízszintjénél sokkal magasabban áll a víz. Őseink nyilvánvalóan ezt a rétegvizet találták meg és használták fel szükségleteik kielégítése végett. A kutaknak így nagyon nagy jelentősége volt, főleg, ha a várost az ellenség körbevette és huzamosabb ideig ostromolta.

A BARLANGPINCÉK KIALAKULÁSA, KIALAKÍTÁSA, ELHELYEZKEDÉSE

A pincék, folyosók, üregek több szintben helyezkednek el egymás alatt. Általában kettő, de sok helyen három szint is található. Az első, épített pinceszint közvetlenül az épületek földszinti helyiségei alatt található, ezek téglá vagy kőboltozatos helyiségek. Felső részei – a mészkőpaplan felett elhelyezkedő – későbbi feltöltésű, ún. kultúrtörmelék szintjében vannak, de gyakran a magasan fekvő mészkőbe vészték bele. Aljzatuk átlagos mélysége a felszíntől 3–4 méter. A második szint – mely néhány tucat helyen létezik –, már minden esetben sziklába vájt, de mesterséges pince, dongaboltozattal fedve. Ezek közvetlenül az első szinten lévő pincék alatt vannak. Padlójuk átlagosan 5,5–8 méter mélységben van a felszíntől számítva. Ezeket úgy hozták létre, hogy az első nagy belmagasságú boltozatos pincéket egy újabb boltozattal két kis belmagasságú térre osztották fel. Ez például jól látható a Hess András tér 3. pincéinek felmérési tervén is. A harmadik szint maga a részben természetes barlangpince-rendszer, amely a márga- és mészkőpaplan határán helyezkedik el. Mennyezete szikla, oldalfala és járófelülete márga, de a legtöbb helyen már terméskő vagy téglafalazat az oldaluk és beton járófelület látható bennük. A mennyezetükön rengeteg helyen oldásformákat (más néven gömbüstöket) lehet megfigyelni mely egyértelműen a hévizek alulról történő felfakadásából alakult ki. A barlangpincék mennyezete átlagosan 8 méter mélyen, padlózatauk pedig átlagosan 10 méter mélyen fekszik a felszíntől.

Még egy évtizede is, – az addig rendelkezésre álló adatok alapján – a vári mélypincéket kutatók azt hitték, hogy a részben természetes üregeket a lakók valószínűleg kútásás közben találták meg, és bővítették ki azokat. Ma már tudjuk, hogy ez nem teljesen így volt. A valódi ok kiderítését legfőképpen az a tény indokolta, hogy a barlangpincék egyértelműen szinte mindenhol az utcák (pontosabban eredetileg beépítetlen területek) alatt helyezkednek el, illetve a barlangpincékhez tartozó szellőzőkürtők és kutak egyenes sorokat alkotva a házak utcai homlokzati vonalában a járdák alatt vannak. Továbbá a barlangpincék – követve a korabeli egységes telekosztást – egymástól oldalirányban mindig 30 láb, azaz 5 öl, mai mérettel mérve 9,15 méterre vannak, így az azokhoz az épületek pincéiből levezető lépcsősorok is. Az nyilván nem lehetséges, hogy a részben természetes barlangpincék a jóval későbbi, ember által kialakított telekosztás és utcakijelölés szerint alakultak volna ki.

Egy kísérletsorozat jóvoltából kiderült, hogy a budai agyagos-meszes márgának a mésztartalma kb. 30%. Ezt a márgát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen 940 °C-on kiégetve égetett meszet állítottunk elő, melyet vízzel való oltása után néhány nappal megszilárdult habarcsot tudtunk előállítani. Feltevésem szerint, a ma is látható barlangpincék nagy része mesterségesen vájt egykori bányászati üreg lehet, melyet a várilakók az idők folyamán lefelé a márgába jelentősen le-mélyítettek. Majd később oldalukat az omlások elkerülése végett felfalazták és a II. világháború előtt és alatt egymással tárokkal összekötötték, részben közművesítettek és padlójukat leburkolták.

Adataim és kutatásaim alapján valószínűsíthető, hogy a budai Vár alatti üregek sokkal kisebb arányban természetesek, mint mesterségesek. Döntő többségükben vájt üregekről van szó, de elképzelhető, hogy szinte teljes mértékben mesterségesek, mindössze a mészkő és a márga határán alakultak ki olyan képződmények, amelyek különleges természeti értéket képviselnek (például oldásformák, borsókövek stb.).

A BARLANGPINCÉKBEN LÉVŐ KUTAK

Ahogy a fentiekben már említettem a budai Várban az ásott kutak nagy része a házak utcai homlokzata előtt a járdák alatt fekszik. Ez azért lehet, így mert ezek eredetileg a bányászati üregek szellőzői és anyagkitermelő aknáai lehetnek. Majd csak később mélyítették le minden ötödiket kúttá, *Kadić (n.a.)* kéziratos naplójának statisztikai elemzése alapján. Az eredeti kutak nem itt, hanem a telkek belsőjében lehettek, de ezek már e legtöbb esetben nem fellelhetők, mivel az idők folyamán épületek épültek rájuk.

A kutak vízáadó képessége tág határok között változik. Ez ugyancsak abból adódik, hogy az agyagos márga vízvezető képessége kicsi. Tehát ha a kutakból kiemelik vizet, akkor azok lassan töltődnek vissza. A várplató északi részén jóval nagyobb a kutak vízáadó képessége, míg a déli részen több nagyságrenddel kisebb. Az északi részen a kutak vízáadó képessége, azaz hozama 1 440–13 000 liter/nap körül alakul, míg a déli területen csak 3,84–480 liter/nap között. Ennek legfőbb oka, hogy az északi részen az Ördögárok kavicsterasz megtalálható, míg a déli részen már nem. Az általunk vizsgált Fortuna utca 21. barlangpincében lévő kút (pontosabban ciszterna) az északi részen helyezkedik el, vízáadó képessége 1 440 liter/nap volt mind 1994-ben mind pedig 1996-ban (*Hajnal 2003*).

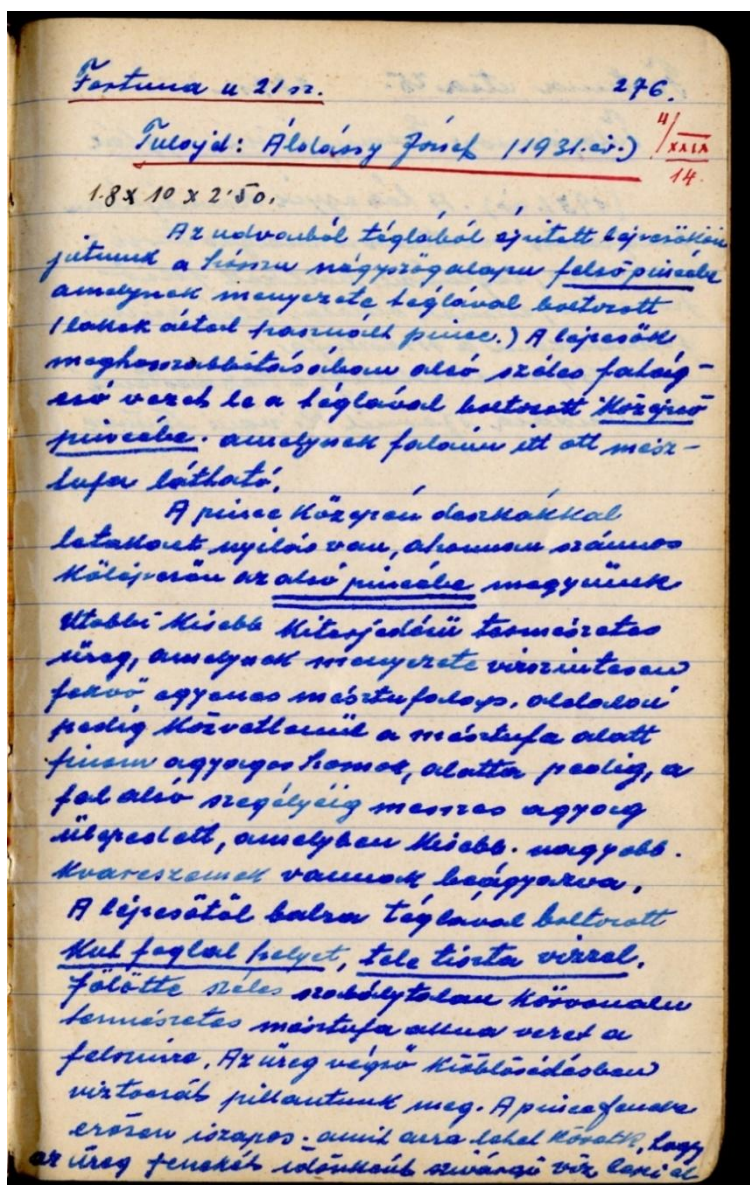
A vizsgált barlangpince kútjában (pontosabban ciszternájában) 1994-ben tisztítás közben folyóvízi kavicsot találtak (*Debreceni Búvárkлуб 1994*).

A BARLANGPINCÉ ÉS ANNAK KUTATÁSA

A Fővárosi Mérnöki Hivatal 1886. január 4-i jelentése alapján az előző évben felmérték a barlangpincét. Az üreg mennyezete kisebb mértékben repedezett volt (*Zádor 1994*). *Kadić Ottokár* még a II. világháborús átépítések előtt, 1931-ben látta a barlangpincét (2. *fotó*), melyről a következőket írta: „A lépcsőtől balra téglával boltozott kút foglal helyet, tele tiszta vízzel. Fölötte széles szabálytalan körvonalú természetes mésztufa akna vezet a felszínre. Az üreg végső kiöblösödésében víztócsát pillanthatunk meg. A pince fenekére erősen iszapos, amiből arra lehet a következtetni, hogy az üreg fenekét időnként szivárgó víz lepi el.” (*Kadić n.a.*) (2. *fotó*).



2. fotó. A barlangpince fényképe valószínűleg 1931-ből (Kadić 1942)
Photo 2. The photo of the cave cellar is probably from 1931 (Kadić 1942)



3. fotó. Kadić kézzel írt naplójának Fortuna utca 21. pincéről szóló lapja
Photo 3. Kadić handwritten diary page about the cellars at Fortuna Street 21.

A barlangpince valószínűleg régen is nagyon vizes lehetett, mivel ma már tudjuk, hogy az ott talált facső eredeti funk-

ciója is a vízelvezetés volt. A facsövet 2019-ben vettük észre és két helyen, a padló feltárásával megkutattuk (4. *fotó*).



4. *fotó*. A facső vége a vízgyűjtő medence felől nézve (szerző felvétele 2019. 07. 28-án)
Photo. 4. The end of the wooden pipe seen from the water cistern (author's photo on 2019. 07. 28.)



5. *fotó*. Kiásott facső a barlangpince járófelülete alatt (szerző felvétele 2019. 07. 28-án)
Photo 5. Excavated wooden pipe under the walking surface of the cave cellar (author's photo in 2019. 07. 28.)

A pince padlóját rétegesen alakították ki, a megtalált cső egy vastag, kavicsos rétegben fekszik (5. *fotó*). A vízgyűjtő medencétől enyhén lejt a kút irányába, hossza 6 méter, külső átmérője 24 cm, belső átmérője 10 cm (7. *fotó*).

2020. decemberében a csőből (igen nagy keménysége, tömörsége és a víz alatti kézi fűrészelés miatt nagy nehézségek árán) mintát vettünk Dalmi Péter és Somogyi Gyula segítségével (6. *fotó*).



6. fotó. Mintavétel közben a ciszterna környezete (szerző felvétele 2020. 12. 11-én)
 Photo 6. The environment of the cistern during sampling (author's photo on 2020. 12. 11.)

Kérésre dr. Grynaeus András régész, dendrokronológus a faanyagot megvizsgálta. Kiderült, hogy vörösfenyő alapanyagú és a Duna felső folyása vidékén kivágott szálfa felhasználásával alakították ki a belső részének kifűrésével. Elemzése során arra jutott, hogy az alapanyagot adó fát legkorábban 1693 novemberében vághatták ki. A

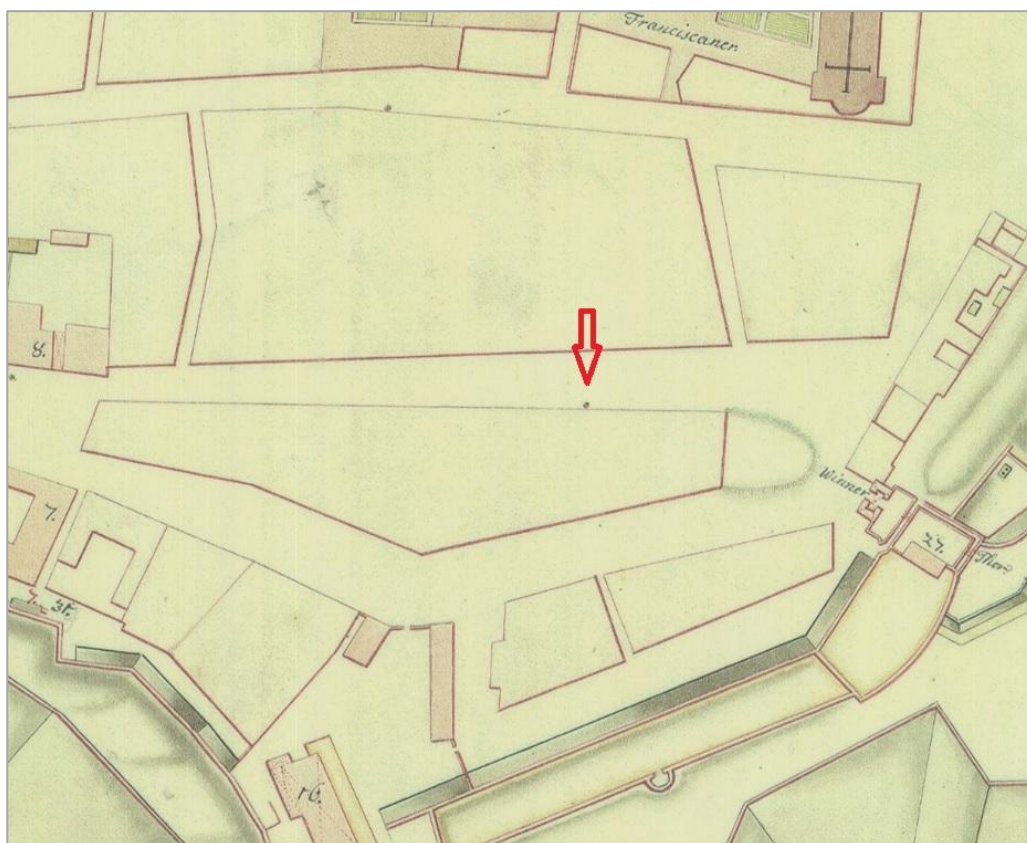
pincében álló talajvíz elvezetésére ekkor egy sekély medencét ástak és a csövet behelyezték úgy, hogy az a vízgyűjtő medencében összegyűlt vizet a kútba vezesse a járószint alatt. A 17. századi facső készítője valószínűleg igényes munkára törekedhetett, hiszen a farönkről a kéreg el van távolítva.



7. fotó. A levágott fa csővég darabok összeillesztve (szerző felvétele 2020. 12. 12-én)
 Photo 7. The cut wooden pipe end is joined together (author's photo in 2020. 12. 12.)

Ez a barlangpince már a facső elhelyezésekor is igen nedves lehetett, azaz a vízádo képessége jóval nagyobb lehetett mint az átlagos vári kutaké. Ez a kút a Fortuna utca

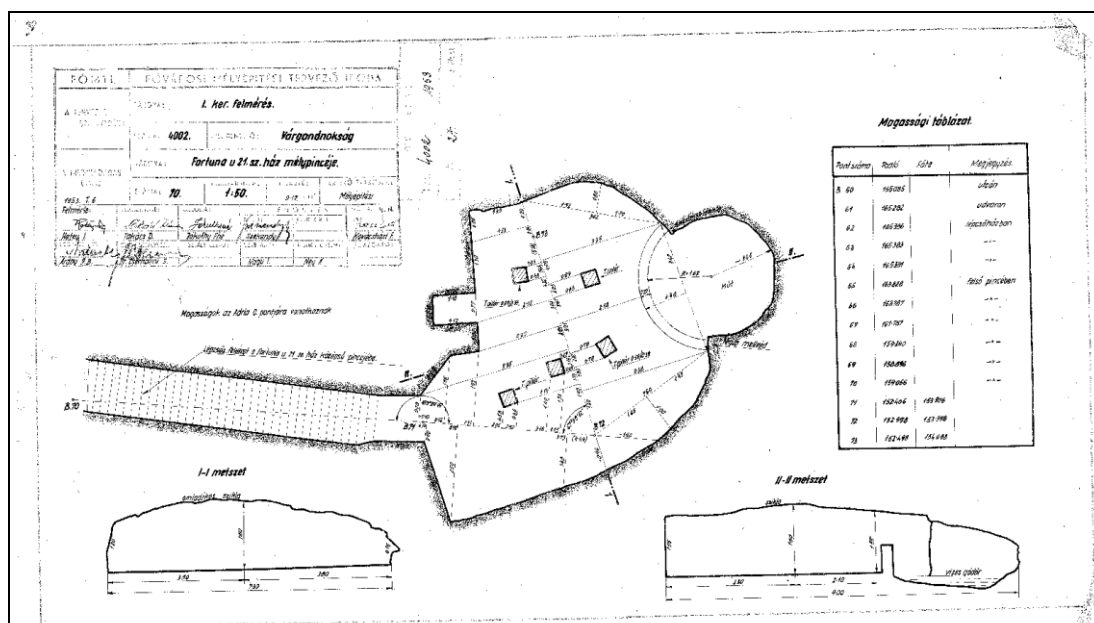
északi szakaszán, a ház homlokzati vonala előtt, az utcán a Havel Salgari de Salger 1763-ban készült térképén is megjelent (2. ábra).



2. ábra. Salgari térképének részlete 1763-ból a kúttal (URL1)
Figure 2. Detail of Salgari's map from 1763 with the well (URL1)

Tudjuk, hogy a kutat 1787-ben „jókarba helyezték”, vagyis mai szóval felújították és használhatóvá tették (Zakariás 1956). A házat az akkori iratokban a török fejes háznak nevezték, hiszen már akkor is (és ma is) egy épületet alkotott a Táncsics utca 24. számú épülettel (Horler 1955), ahol a mai napig is a kapu felett látható a török turbános faragott fejszobor.

A Fortuna utca 21. kútja és a felszínig felvezető kürtője (és így a facső északkeleti vége) nem látható, mivel a II. világháború alatt a barlangpincét óvóhelyé alakították, és a kutat feltöltötték, lebetonozták, illetve a kút feletti kürtőt óvóhelyi vészkijáratá alakították. A kürtő ki van betonozva és acél hágsó van benne.



3. ábra. A barlangpince felmérési terve 1953-ból (az alaprajzon a kút felirat helytelen, helyesen: ciszterna vagy vízgyűjtő) (FŐMTERV 1953)

Figure 3. Survey plan of the cave cellar from 1953 (the word “well” on the floor plan is incorrect, it should be: cistern or water reservoir) (FŐMTERV 1953)

A háború utáni felvételeken még az egykori felszínig felnyúló kútürtő helyén egy vasbeton óvóhelyi vészkijárat volt, mely ma

már nem látható, mert elbontották; valamint a barlangpincébe is akkor építették be a mennyezeti főtét tartó téglapilléreket (8. *fotó*).



8. *fotó*. A régi kút feletti aknából óvóhelyi vészkijáratot építettek ki II. világháború során (Fortepan 96587)

Photo 8. An emergency shelter exit was built from the shaft above the old well during World War II. (Fortepan 96587)

Német nyelvterületen igen gyakori volt a hasonló csövek vízvezetékként való használata. Például ilyen facsövek láthatóak a Nürnberget ábrázoló egyik metszeten 1716-ból (1-2-3. *kép*).



1. *kép*. Nürnberget ábrázoló metszet facsövekkel 1716-ból (URL2)

Image 1. Engraving depicting Nuremberg with wooden pipes from 1716 (URL2)



2. kép. A Nürnberget ábrázoló metszet vonatkozó részleteinek nagyításai a lyukas facsövekkel (URL3)
Image 2. Enlargements of relevant details of the engraving depicting Nuremberg with the perforated wooden pipes



3. kép. A Nürnberget ábrázoló metszet vonatkozó részleteinek nagyításai a lyukas facsövekkel (URL4)
Image 3. Enlargements of relevant details of the engraving depicting Nuremberg with the perforated wooden pipes (URL4)

Nürnbergben a látogatók számára kialakított vezetett túrákon a földalatti pincerendszerben a kiállításban is látható ilyen facső (9. fotó). A vitrinben kiállított igen jó állapotú facső felirata a következő: Teilstück der Nürnberger

Holzwasserleitung zur Versorgung des Schönen Brunnens (mit Abzweigbohrung) 14. Jahrhundert, azaz lefordítva: A Szép szökőkutakat ellátó nürnbergi fa vízvezeték szakasza (elágazó furattal) XIV. század.



9. fotó. 14. századi fa vízvezetékcső Nürnbergben a földalatti turisztikai kiállításon (szerző felvétele 2023. 07. 23-án)
 Photo 9. 14th century wooden water pipe in Nuremberg at the underground tourist exhibition (author's photo in 2023. 07. 23.)

A földalatti kiállításon még egy tábló is található a vízvezetékek kialakításáról (10. fotó).



10. fotó. Táblókép a korabeli nürnbergi földalatti csővezetésekről (szerző felvétele 2023. 07. 23-án)
 Photo 10. Tableau of the Nuremberg underground pipes of the time (author's photo on 2023. 07. 23.)

Tudjuk, hogy a német Bautzen és Stolpen városában is a középkorban ilyen facsőken vezették az ivóvizet. (URL5). Salzburg városának Thumegger-i járásában talál-
 tak hasonló átfűrt farönköket 2010-ben (Pfeifer és társai 2013). A vízvezeték létesítése Guidobald érsek utasítására

történt 1660-ban, hogy friss forrásvízzel lássa el a reziden-
 ciáját. Ausztriában Raurisban a helytörténeti múzeumban
 több hasonló facső is ki van állítva (11. fotó), mely a tele-
 pülés középkori bányáiból származik (Szerző megfigyelése
 2022. augusztusában.).



11. fotó. Bányából származó fa vízcső töredék az ausztriai Rauris település helytörténeti múzeumában (szerző felvétele: 2022. 08. 19-én)
 Photo 11. Fragment of a wooden water pipe from a mine in the local history museum of at Austrian town of Rauris (author's photo in 2022. 08. 19.)

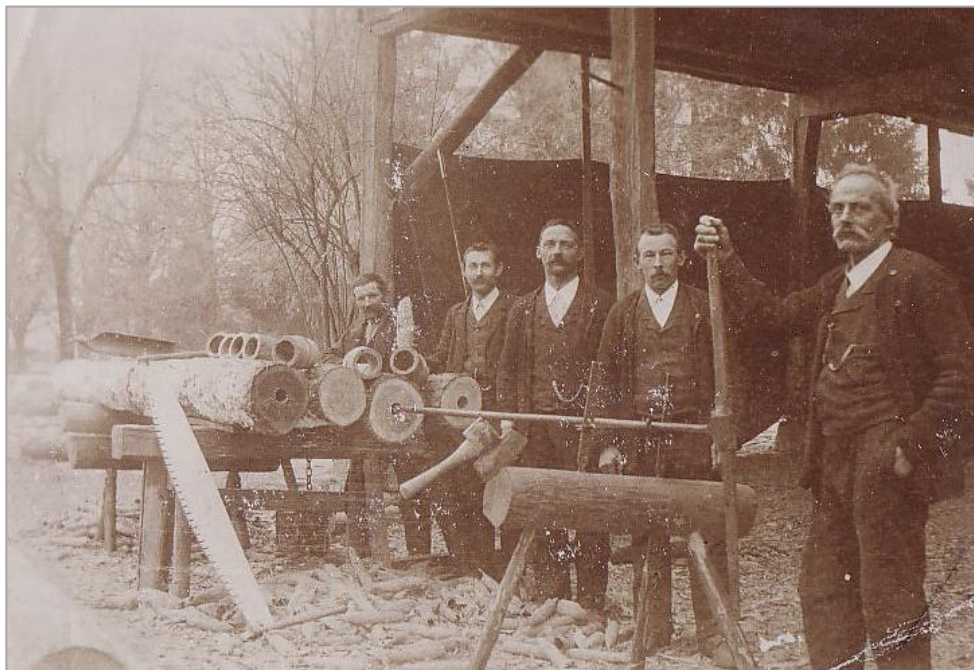
Továbbá Ausztriában Murau környékén is készítettek ilyen csöveket, melyet fénykép is megörökített (12. fotó), (Wieland 2023).



Herstellung hölzerner Wasserrohre

12. fotó. Fa vízvezetékek készítése (Wieland 2023)
 Photo 12. Making a wooden water pipe (Wieland 2023)

Továbbá Svájcban, Luzernben is melyről ugyancsak maradt fenn korabeli fénykép (13. fotó).



13. fotó. Csőfúrók 1905 körül Luzernben (Wikipedia Teuchelbofer.jpg)
Photo 13. Pipe drillers around 1905 in Lucerne (Wikipedia Teuchelbofer.jpg)

Magyarországon is tudunk hasonló faanyagú vízcsőről. Az egri várban a Zárkándy-bástya alatt lévő aknafigyelő folyosókban a vasútvonal alatt áthaladva egy vízgyűjtő folyosó, valamint ciszterna nyílik, melyben megmaradt egy vélhetően középkori vörösfenyő törzsekből épített vízve-

zeték hálózat néhány méteres szakasza (Barna 2020). Felvetődik a kérdés, hogy a felhasznált farönköket hogyan fúrták ki. Az eljárás a következő volt: a rönköket lehántolva vagy a nélkül vízszintesen bakokra helyezték, majd egy hosszú nyelű kézi fúróval kifúrták a belsejét (14-15. fotó).



14. fotó. Rekonstruált kézi facső fúró egy svájci múzeumban (URL6)
Photo 14. Reconstructed hand-held wooden pipe drill in a Swiss museum (URL6)



15. fotó. Facső kézi kifűrésésének rekonstrukciója napjainkban (URL7)
 Photo 15. Reconstructoin of hand-drilling a wooden pipe in our time (URL7)

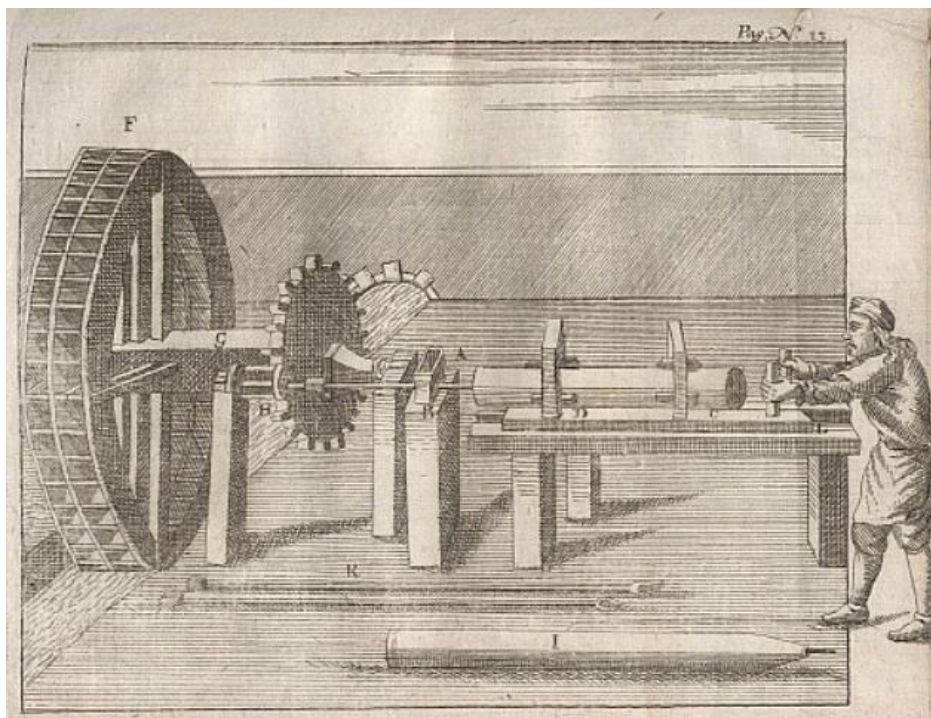
Georgius Agricola a bányászatról szóló könyvének hatodik részében is említést tesz a facsövekről, azok kifűréséről és használatukról. Egy bányászati vízszivattyú ábrá-

ján részletesen bemutatja annak részeit és a hozzá tartozó facsövek kifűrésének menetét és ahhoz használandó szer-
 számokat (4. ábra), (Agricola 1556).



4. ábra. Facső kifűrésa és fűrészszerszámok rajza, O - munkás aki facsövet fűr, P – csavarfűró, Q – kanalas fűró (Agricola 1556)
 Figure 4. Drawing of drilling a wooden pipe and drilling tools, O – worker drilling a wooden pipe, P – screw drill, Q – bucket drill
 (Agricola 1556)

Az 1600-as évek végén már biztosan létezett vízzel hajtott változatban is (5. ábra).



5. ábra. Vízzel hajtott csőfúró gép 1688-ból (Rohrmühle, angetrieben von einem Wasserrad, Heil, Arnold, Verleger,) (Verwalter: Sächsische Landesbibliothek – Staats – und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB))

Figure 5. Water-powered pipe drilling machine from 1688 (Rohrmühle, angetrieben von einem Wasserrad, Heil, Arnold, Verleger,) (Verwalter: Sächsische Landesbibliothek – Staats – und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB))

A csöveket a középkorban Magyarországon a csatornás mesterek (chisternarius, chatornas), az újkorban a csőgyártó mesterek (röhrmeister), vagy az esztergályosok (drechsler) fűrták ki, készítették el. Német nyelvterületen a fából készített vízvezeték csöveket Teuchel vagy Deichel néven nevezték.

Buda középkori és a 18. századi vízvezetékeinek témáját, okleveles forrásait és régészeti leletanyagát már többen feldolgozták, ezért csak a facsövek használatáról szóló négy adatot említem (Garády 1998, Gerevich 1966, Kubinyi 1984, Zolnay 1961, Balogh 1966, Végh 2011, Magyar 2007, Fényes 2007a). A facsövek említése a forrásokban véleményem szerint esetleges, mivel eredetileg valószínűleg kombinált anyagú vezetékek lehettek, amelyek a hosszabb egyenes szakaszokon fából, az íves, vagy kanyarodó részekben pedig a könnyen hajlítható ólomból készülhettek. A használt vizet pedig kerámiából készült, nagyobb átmérőjű csövek, vagy téglából épített csatornák szállították el.

Bonfininek a Mátyás király budai építkezéseinek leírásánál olvashatjuk, hogy „A királyi lak kútjába körülbelül nyolc stádiumnyi távolságból kátrányozott csöveken és ólomvezetékeken hozta a vizet” (Bonfini 1995). A budai királyi palota ásatásakor a mai Nagyudvarban olyan vaspántokat találtak, amelyről feltételezni lehet, hogy fa vízvezeték csövek illesztésénél használták őket (Zolnay 1961). A Svábhegy – Városkút ásatása során Garády Sándor a Városkúti út 17-19. és 21-23. telkeken, valamint az Óra utcánál tárt fel facsővet, de korát sajnos nem tudta egyértelműen megállapítani (Garády 1998, Zolnay 1961). A Kapucinus utca 9. számú épület kútjában egy valószínűleg a 18. században elhelyezett függőleges facsővet talált

Benda Judit 2012-ben (Benda 2013). A cső egy szivattyú része lehetett, amelyet egy középkori, kőből rakott falú kútba mélyítettek.

A budai várhegy polgárvárosának ivóvíz ellátását a leletek és az építészeti részletek tanúsága szerint a 15. század második felében építették ki (Garády 1998). A szemközti hegyen található három forrás (Király-, Sváb- és Város-, vagy Doktor-kút) vizét forrásfoglalatba foglalták és föléjük kútházat építettek. A vizet ezután csövek segítségével folytatták el a kívánt helyekre. Mivel a vezetékek anyaga a víznyomás miatt nagyobb terhelésnek volt kitéve, a csöveket időről-időre ki kellett cserélni. A helyszínen ezért fa-, kerámia-, ólom- és vascsöveket is feltártak. A vízvezeték a törökkorban is használták egy darabig, majd a 18. század elején felújították I. Lipót király 1702. évi parancsára. A Duna melletti vízművet is megújították Lindner Virgilius, majd Diez Ádám János vízépítő mesterek vezetésével 1696-ban. Ez a vízmű a mai Szent György téren egykor állt víztoronyba, a Városkúti pedig a Szentháromság téri kútba vezette a vizet. A Svábhegyről vezetett vízmű szerkezete 1716-ra készült el Lillinsch János György javaslatai alapján, Kernhaustainer Konrád jezsuita fráter közreműködésével.

A budai Vár törököktől való visszafoglalása után az ivóvíz ellátással is sok probléma volt. Budán a visszavétel után nemcsak élvezhetetlen, hanem veszélyes volt a kútvíz. Nagy számban betegedtek meg tőle, illetve többen meg is haltak. A Haditanács sürgette a probléma megoldását. Beck várparancsnok a Pálvölgyben fakadó forrás vizét akarta bevezetni a Várba. Majd az egykori vízemelő gépet akarták rendbe hozatni, de annak már nyomát sem találták.

Végül a kutak vizét próbálták megtisztítani. Ezt forró kőso kutakba való helyezésével végezték. Werlein inspektor terve volt, hogy a Dísz téren egy széles új kutat ását, mert a közeli pincékben kielégítő víz volt szerinte (*Bánrévy 1936*). Arról nincs információnk, hogy terve megvalósult-e. De az egyértelműen látható, hogy Buda törököktől való visszavétele után a vízvezetékek csak egy-két évtizedes késedelemmel lettek felújítva, hiszen tudjuk, hogy törököktől visszavett Vár újjáépítését csak 1696 körül kezdték meg (*Czagány 1975*). Feltételezhetően addig a barlangszintekre lenyúló közutak látták el a város vízzel. Ilyen kút lehetett az általam részletesen bemutatott Fortuna utca 21. szám alatti barlangi kút és hozzá tartozó ciszterna, illetve facső.

Visszatérve a budai Vár polgárvárosi részében található közutakhoz további analógiákat is találhatunk. A Szent György utca 10-es telek régészeti ásátásán is feltártak egy barlangpincét, amelyben máig áll a víz. Mivel a szomszéd telken (Szent György utca 12.) az Árpád kori zsinagóga állt, ezért feltételezhető, hogy ezt a barlangpincét mikvének (rituális fürdőnek) használták (*Végh 2006*).

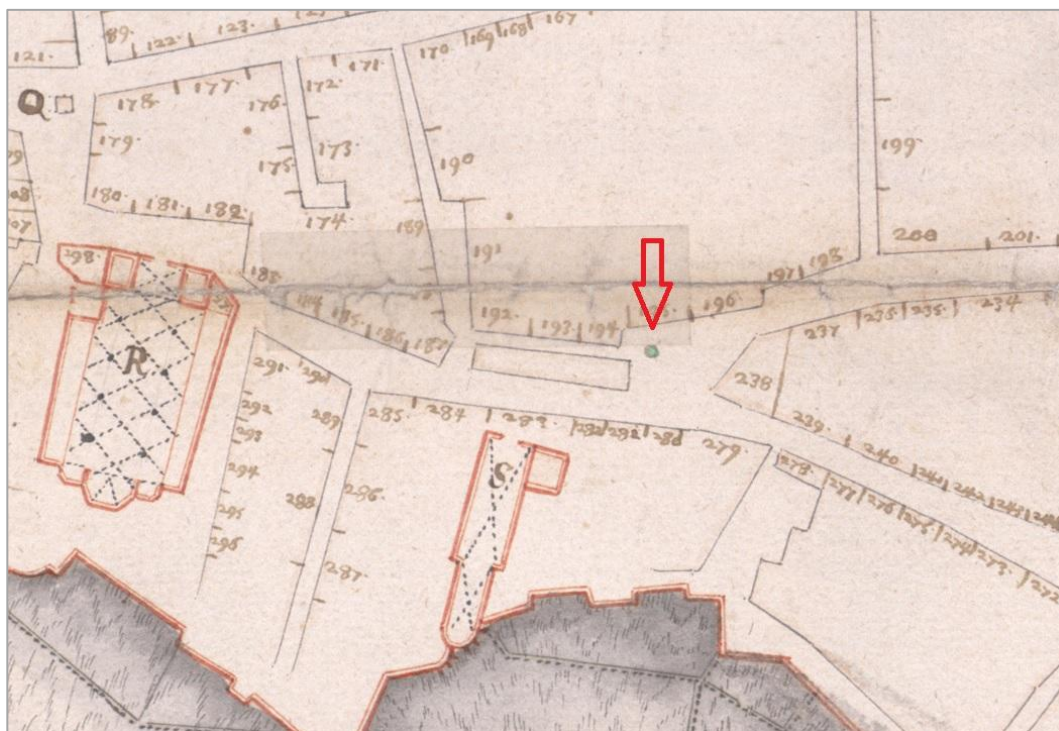
A Fortuna utcaihoz hasonló további négy kút is látható a Salgari térképen: az Országház utca páros és páratlan oldalán az utca elején, az Országház utca páratlan oldalán a Kard utca és a Fortuna köz közötti szakaszán és a mai Hess András téren. Utóbbi a Marcel de La Vigne 1687-es térképen is látható. E térképet a szakma eddig Joseph de Hauy-nek tulajdonította, de nemrég Végh András régész bebizonyította, hogy Marcel de La Vigne műve ez is a másik már tőle ismert térképpel együtt (*Végh n.a.*). Ebből, a négy barlangpincében lévő kútból három ma is beazonosítható. Ezek a kutak mind olyan barlangpince területen helyezkednek el, melynek az alján nagy mennyiségű beszivárgó víz szokott összegyűlni.

A három beazonosított kút közül az első vélhetően megegyezik az Országház utca 6. számú épülethez tartozó barlangpincében lévő kúttal. E barlangpince feltárása során Kadić Ottokár a következőket állapította meg: „Mikor az Országház-utca 6. sz. ház barlangpincéjének alját mélyítettük, szivárgó talajvízre akadtunk. Hogy ennek eredetét megállapíthassuk, gödröt ástunk a pince fenekébe s ekkor 1 méter mélységben vastag kavicstelepre akadtunk, amelyből víz ömlött a felszínre. Az ökölnyi nagyságú ka-

vicsszemek részben mészkőből, részben pedig homokkőből állnak, olyan kőzetek ezek, amelyek a Budai hegységben honosak. Eszerint azt a kavicstot nem a Duna, hanem az Ördög-árok patakja hozta a hegységből” (*Kadić 1942*). Erről a kavicstelepről újabb információ nincs, de igen érdekes, hogy ez a barlangpince és kút is hasonló kavicssos padlózatú volt és ugyanolyan nagy vízáradó képességű, mint a Fortuna utca 21. számhoz tartozó. Érdekes adalék, hogy az 1880-as évek közepén történt barlangpincék szisztematikus felmérése során ezen a környéken (konkrétan az Országház utca 2., 4., 6., 8., 10. számokhoz tartozó barlangpincékben, illetve a 6. és 8. számokkal szemben lévő házakhoz tartozó barlangpincékben nemcsak csepegett a víz, hanem gyakori volt a vízállás bennük. (*Zádor 1994*) Tehát nem véletlen, hogy itt közutakat hoztak létre.

A három beazonosított kút közül a második vélhetően megegyezik Országház utca 11. épület előtt lévő, ugyan-csak az utca alatt lévő barlangpincével. Itt a barlangpince a környező barlangpincékhez képest mélyebben helyezkedik el. Napjainkban is gyakori a vízzel való elöntése, amikor a barlangpince padlójában kiépített zsombban lévő szivattyú nem működik. Ennek a szivattyúnak a feladata az utcai csatornahálózatba az alul összegyűlt víz kiszivattyúzása. 1927. március 31-én megjelent, de 1921-ben végzett kutató bejárást leíró, A Mai Nap című lap „A budai Vár titkai” című cikksorozat tizenötödik részében a szerző beszámol arról, hogy az Országház utca 20-ból lemenve 115 lépés után vízzel elárasztott teremhez értek ahol csak csónakkal tudtak közlekedni, de tovább járat nem vitt. A leírásban szereplő, Országház utca 20-ból induló bejárást végig követve a térképeken biztosra vehetjük, hogy a most is mélyen fekvő, gyakran víz alatt lévő Országház utca 11. előtti út alatt lévő barlangpince szerepel a közleményben. Itt a vízmélység helyenként a 2 métert is elérte és egy helyen 25 méter (!) mély is volt, de ők is azt sejtették, hogy egy kútra leltek a víz alatt. Természetesen ez igaz lehet. A szerző megjegyzi, hogy a Belügyminisztérium Országház utcai homlokzata alatt lehetnek. Ez tényleg nagyon közel volt hozzájuk (*Dőry 1927*).

A három beazonosított kút közül a harmadik vélhetően a Hess András téren lévő. Ez több korabeli térképen is szerepel. Például a már említett de La Vigne térképen is látható és a mai napig megvan (6. ábra).



6. ábra. A Hess András téri közkút jelölése a de La Vigne térképen (Österreichisches Staatsarchiv)

Figure 6. Marking of the Hess András Square public fountain on the de La Vigne map (Wien, Österreichisches Staatsarchiv, Haus-Hof- und Staatsarchiv, Kartensammlung Ke 3-5/1.)

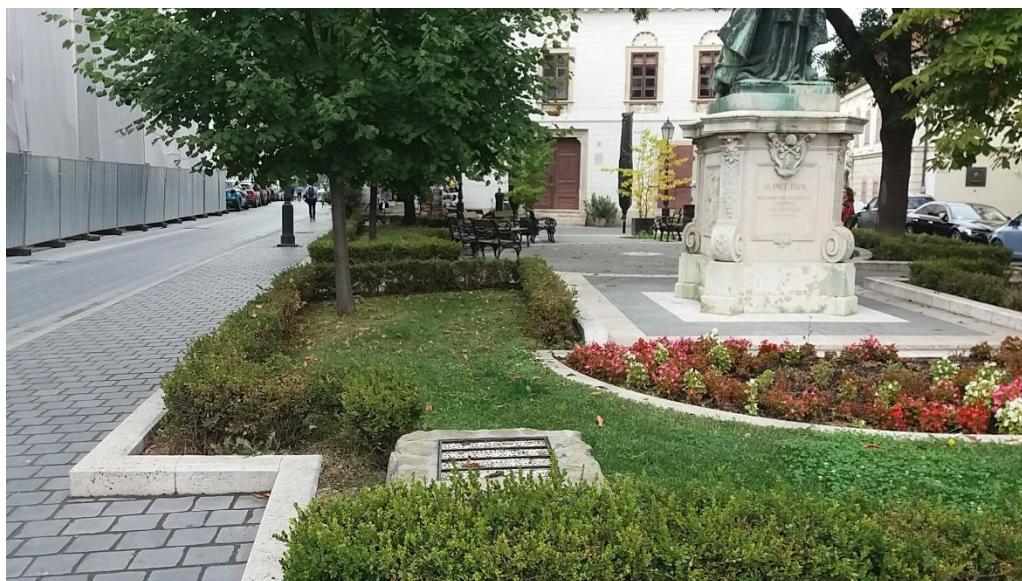
Ma már csak a kút felett látható kürtő felszíni megjelenése látható, mint kis magasságú falfalazás és azon egy kis

rács (17. fotó). A Hess András tér 4. számú épületéből elérhető barlangpincében a kút nagyméretű kövekből kifalazott oldalfala is látható (16. fotó).



16. fotó. A Hess András téren lévő egykori közkút barlangszinti megjelenése (szerző felvétele 2003. 09. 27-én)

Photo 16. The appearance of the former public fountain on Hess András Square on the cave level (author's photo in 2003. 09. 27.)

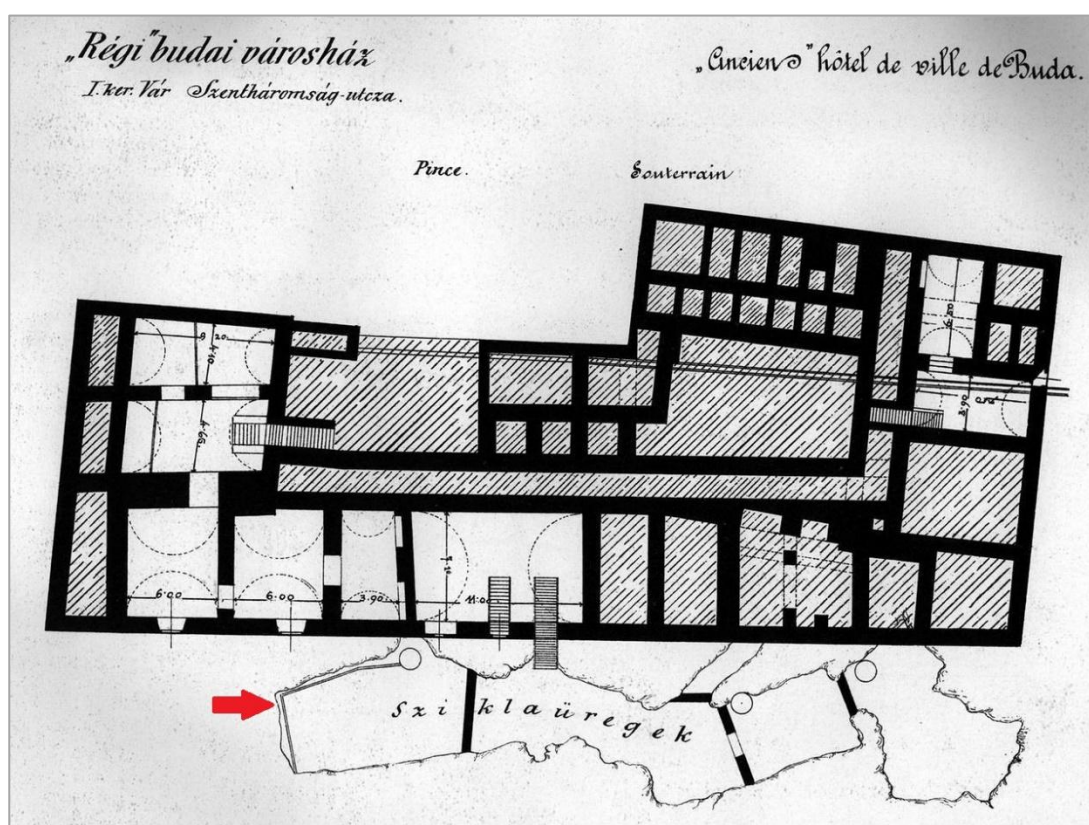


17. fotó. A Hess András téren lévő egykori közkút megjelenése a felszínen, a kép előterében, mint fehér ráccsal fedett szellőző (szerző felvétele 2021. 09. 27-én)

Photo 17. The appearance of the former public fountain on Hess András Square on the surface, in the foreground of the picture, as a ventilation shaft covered with a white grid (author's photo on 2021. 09. 27.)

Lehetséges, hogy egy 1891-ből származó, a régi városháza pincéjét és barlangpincéjét ábrázoló alaprajzon az utca alatti, keleti irányban lévő barlangpince szélébe,

tört vonalban ábrázolt dupla vonal is egy hasonló csövet ábrázol, mely a közeli kútba vezethette a vizeket (7. ábra).



7. ábra. Weinwurm Antal: "Régi" budai Városház: I., ker. Vár Szentháromság utca 2-4., pince 1891 (Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár)

Figure 7. Antal Weinwurm: "Old" Buda town hall: I., district. Castle, Szentháromság street 2-4., cellar 1891 (Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár)

Összességében úgy tűnik, hogy a fenti tanulmányban említett közkutak mélyítésük idején és mai napig is olyan területeken vannak, melyek az átlagosnál sokkal vízesebb helyek a Várban. A Fortuna utca 21. ház mélypincéjében

megtalált kút is ezek közé, a nagy vízhozamú kutak közé tartozott. Az állandóan csepegő víznek a kútba vezetésére szolgáló facső pedig egy szerencsés véletlen folytán megőrződött korunkra.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet szeretném kifejezni Csecserits Artúrnak, Rohánszky Mihálynak, Dalmi Péternek, Somogyi Gyulának, Dr. Grynaeus Andrásnak és Benda Judit régésznek a kutatásban, feltárásban és e közlemény létrejöttéhez nyújtott segítségükért.

JEGYZETEK

A szerző az irodalmi hivatkozások könnyebb kereshetősége érdekében az egyes hivatkozások végén, zárójelben tünteti fel a felhasznált részek oldalszámát.

IRODALOMJEGYZÉK

Agricola G. (1556). Tizenkét könyv a bányászatról és a kohászátról (reprint) pp. 199.

Balogh J. (1966). A művészet Mátyás király udvarában. I-II. Budapest. pp. 88-92.

Barna B. (2020). Eger és környéke – túrakalauz, Kornétás Kiadó. pp. 47.

Bánrév Gy. (1936). Az első hivatalos intézkedések a visszafoglalt Budán 1686-ban. Tanulmányok Budapest Múltjából. V. pp. 247-248.

Benda J. (2013). Budapest I. ker., Kapucinus utca 9., Hrsz.: 14292/2. Aquincumi Füzetek 19. pp. 145.

Bonfini A. (1995). A magyar történelem tizedei. Fordította: Kulcsár Péter. Budapest. pp. 870.

Czagány I. (1975). A budavári volt Weixelgärtner ház sorsa, mint művészetszemléleti fejlődésünk fordulópontja, Művészettörténeti Értesítő 24. évf. pp. 86.

Debreceni Búvárklub (1994). Kutatás a barlangpincékben lévő kutakkal kapcsolatban

Dóry P. (1927). A budai Vár titkai, A Mai Nap, 1927. 03.31. <https://doi.org/10.1515/juru.1927.1927.1.31>

Fényes G. (2007a). Középkori vízmű maradványai Budapest Lánchíd utca 19-21. alól (1/A lelőhely). Budapest Régiségei 41. pp. 193-227.

Fényes G. (2007b). A budai vízemelő szerkezet maradványairól. Magyar Múzeumok 2007:3. (Vol. 13.), pp. 24-25.

FŐMTERV (1953). FŐMTERV TÜK iratanyag - Fortuna u. 21. sz. ház mélypincéje 1953. 01. 06.

Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár - Budapest-képtár, 000953

Garády S. (1943). Budapest székesfőváros területén végzett középkori ásatások összefoglaló ismertetése, 1931-1941. Budapest Régiségei 13. pp. 167-254.

Garády S. (1998). Buda középkori és újkori vízművei, különös tekintettel a Svábhegy-Városház kutatásra. Budapest Régiségei 32. pp. 248-250.

Gerevich L. (1966). A budai vár feltárása. Budapest. pp. 174-176.

Hajnal G. (2003). A budai Várhegy hidrogeológiája, Akadémiai Kiadó. pp. 54-55., 65.

Horler M. (1955). Táncsics Mihály utca 24. In.: Budapest műemlékei I. Magyarország műemléki topográfiája IV. Szerk.: Pogány Frigyes. Budapest. pp. 506-507.

Kadić O. (n.a.). Eredeti kéziratot naplója az épületek alatti barlangokról (örzési helye: Barlangtani Intézet) (készítési ideje ismeretlen, valószínűleg több évtized megfigyeléseit tartalmazza)

Kadić O. (1942). A Budavári barlangpincék, a Várhegyi Barlang és a barlangtani gyűjtemény ismertetése. Budapest. pp. 5.

Károlyi Á. (1936). Buda és Pest visszavívása 1686-ban. Átdolgozta: Wellmann Imre. Budapest.

Kubinyi A. (1984). Városi vízellátási problémák a középkori Magyarországon. Történelmi Szemle 1984. pp. 636-643.

Magyar K. (2007). Beszámoló Buda első, és török kori vízműveinek feltárásáról. Magyar Múzeumok 2007:3. Vol. 13. pp. 20-23.

Österreichisches Staatsarchiv - Haus- Hof- und Staatsarchiv, Kartensammlung Ke 3-5/1, Wien

Pfeifer, K., Hofbauer, W., Buchner, A. (2013). Ein Teuchel der historischen Fürstenbrunner Wasserleitung. Untersuchung des Rorhfundes 2010 im Tjumejger Bezirk. Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde 153. 203. pp. 71-77.

Rohmühle, angetrieben von einem Wasserrad, Heil, Arnold, Verleger.) (Verwalter: Sächsische Landesbibliothek – Staats – und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB), Inv. – Nr.: 39.8.102, Abbildung Nr. 13)

Seenger E. (1950). A mai Várkert-rakpart szabályozása 1800 körül. Budapest Régiségei 15. pp. 575-578.

Végh A. (2006). Buda város első zsidónegyedének emlékei az újabb ásatások fényében. Régészeti kutatások Magyarországon 2005. Budapest. pp. 133-136.

Végh A. (2011). Kutak, vízművek. Kiegészítés Buda város helyrajzához. In: Fél évszázad terepen. Tanulmánykötet Torma István tiszteletére 70. születésnapja alkalmából. Szerk: Kövári Klára – Miklós Zsuzsa. Budapest, pp. 327-332.

Végh A. (n.a.). Végh András: Habilitációs védés. Kiadás alá rendezés alatt. Kézirat.

Wieland W. (2023). Murau - Geschichte der Stadtgemeinde Band 1. Murau. pp. 409.

Zakariás G.S. (1956). Adatok a Budavári kutak történetéhez. Budapest Régiségei 17.

Zádor J. (1994). Pince veszélyelhárítás a budai Várban az 1880-1890-es években. Levéltári kutatás, (kézirat).

Zolnay L. (1961). Buda középkori vízművei. Történelmi Szemle 4. évfolyam. pp. 41., 44., 54.

URL1: <https://maps.hungaricana.hu/hu/BFLTerkeptar/327/?list=eyJxdWVyeSI6ICJidWRhIHhGdhcmkifQ> (Letöltés ideje: 2021.03.18.)

URL2: <https://www.nuernberg.museum/projects/show/43-schuett-nuernberg-allwo-reitschule-haelt> (Letöltés ideje: 2021.03.18.)

URL3: <https://www.nuernberg.museum/projects/show/43-schuett-nuernberg-allwo-reitschule-haelt> (Letöltés ideje: 2021.03.18.)

URL4: <https://www.nuernberg.museum/projects/show/43-schuett-nuernberg-allwo-reitschule-haelt> (Letöltés ideje: 2021.03.18.)

URL5: <http://www.altewasserkunstbautzen.de/ueber-die-wasserkunst/geschichte-des-gebauedes/> (Letöltés ideje: 2021.03.18.)

URL6: (<https://img.luzernerzeitung.ch/2018/4/13/e1463f3a-28e1-4952-8931-3d4920d7fb01.jpeg>) (Letöltés ideje: 2021.03.18.)

URL7: <https://badreichenhallwiki.eu/images/5/51/Deichelbohrer.jpg> (Letöltés ideje: 2021. 01.01)

A SZERZŐ



SZABÓ BALÁZS 1980-ban született Debrecenben, 2004-ben okleveles építőmérnöki diplomát (MSc) szerzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán. Majd 2010-ben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gazdaság és Társadalomtudományi Karán, mint okleveles mérnök-tanár végzett. 2000-től az ÉPTI Kft.-nél, majd a MTM Kft.-nél, majd a Struktúra Kft.-nél dolgozott először szerkesztő, majd beosztott tervezőmérnök pozícióban. 2014-től saját cége van, melyben különböző épületek és építmények tartószerkezeti tervezését és szakértését végzi, illetve óvóhelyeket tervez. 2018-ban a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen a Katonai Műszaki Doktori Iskolában abszolutóriumot szerzett. Kutatási területe a nagy védőképességű védett létesítmények (óvóhelyek) tervezése. 1999 óta a Budai Vár földalatti tereinek kutatója.



18. fotó. A Király Fürdőben, annak bezárása előtt az előtérben ki volt állítva egy török korból származó vörösfenyő vízcső melyen valaha a fürdő a gyógyvizet kapta." (szerző felvétele 2020. 02. 10-én)

Photo 18. In the Király Bath, before its closure, a larch water pipe from the Turkish era was displayed in the forecourt, through which the bath once received its medicinal water." (author's photo taken on 2020. 02. 10)

Események



A Debreceni Egyetem és a Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Labor által szervezett, a Víz Világnapja alkalmából, 2025. március 24-én megtartott szakmai kerekasztal-konferenciáról számolunk be.

Víz Világnapja 2025 – Integrált Települési Vízgazdálkodás kihívásai Debrecenben

Tamás János¹, Nagy Attila¹, Kiss Nikolett Éva¹

¹ Debreceni Egyetem, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, 4032 Debrecen, Böszörményi út 138. (e-mail: tamas@agr.unideb.hu; attilany@agr.unideb.hu; kiss.nikolett@agr.unideb.hu)

Kivonat

A közlemény a Debreceni Egyetem és a Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Labor szervezésében, a Víz Világnapja alkalmából 2025. március 24-én megtartott szakmai kerekasztal-konferencia legfontosabb megállapításait foglalja össze. A rendezvény közép-pontjában a Debrecen Megyei Jogú Város (MJV) Integrált Települési Vízgazdálkodási Tervének (ITVT) gyakorlati kihívásai, lehetőségei és stratégiai célkitűzései álltak. A résztvevők – az önkormányzat, a közműszolgáltatók, az agrár- és természetvédelmi szféra, valamint a tudományos élet képviselői – több szakterületet átfogó előadások és hozzászólások keretében vizsgálták a városi és térségi vízgazdálkodás kulcskérdéseit. Az ITVT hangsúlyozza az integrált vízgazdálkodási tervezést, az adatvezérelt döntéshozatalt, a zöld infrastruktúrát, a lakossági szerepvállalást és a szektorok közötti együttműködés jelentőségét a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás és a víz biztonság szempontjából.

Kulcsszavak

Integrált települési vízgazdálkodás, városi vízstratégia, csapadékvíz-hasznosítás, klímaadaptáció, víz biztonság, zöld infrastruktúra, lakossági szemléletformálás, Debrecen.

World Water Day 2025 – Challenges of Integrated Urban Water Management in Debrecen

Abstract

This article summarizes the key findings of the professional roundtable conference held on 24 March 2025 on the occasion of World Water Day, organized by the University of Debrecen and the National Laboratory for Water Science and Water Security. The event focused on the practical challenges, opportunities, and strategic objectives of the Integrated Urban Water Management Plan (IUWMP) of the City of Debrecen. Representatives from the municipality, utility service providers, the agricultural and nature conservation sectors, and the academic community examined key issues of urban and regional water management through interdisciplinary presentations and discussions. The IUWMP emphasizes the importance of integrated planning, data-driven decision-making, green infrastructure, public engagement, and cross-sectoral collaboration in addressing climate change adaptation and ensuring water security.

Keywords

Integrated urban water management, urban water strategy, stormwater utilization, climate adaptation, water security, green infrastructure, public awareness, Debrecen.

BEVEZETÉS

A Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kara, valamint a Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Labor 2025. március 24-én szakmai kerekasztal-konferenciát szervezett a Víz Világnapja alkalmából „Az Integrált Települési Vízgazdálkodási Terv (ITVT) városi bevezetésének és stratégiai céljainak értékelése” címmel. A rendezvény célja az volt, hogy a vízgazdálkodásban érintett önkormányzati, közműszolgáltatói, agrár-, természetvédelmi és kutatási szereplők közösen vitassák meg az integrált vízgazdálkodás lokális kihívásait és lehetőségeit, ezzel is hozzájárulva egy egységes, hosszú távú városi stratégia megalapozásához. A fórum a problémák feltárása mellett lehetőséget biztosított deklarációk, javaslatok és szakmai együttműködések megfogalmazására is, a fenntartható vízgazdálkodás támogatása érdekében.

A rendezvény szervesen illeszkedik a Debrecenben korábban megrendezett, az integrált vízgazdálkodással és a

térségi együttműködés kérdéseivel foglalkozó szakmai események sorába, így a „*Trendek és kihívások a területi vízgazdálkodásban*” (2023) és a „*Területi és települési vízgazdálkodás integrációs feladatainak áttekintése a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) hatásterületén*” (2024) elnevezésű konferenciákhoz, amelyekről a Hidrológiai Közöny korábbi számai is részletesen beszámoltak (Tamás és Nagy 2023, Tamás és társai 2024). A mostani fórum ezeket a szakmai előzményeket követve elsősorban Debrecen városi vízgazdálkodás integrációs lehetőségeire és az ITVT bevezetésének tapasztalataira fókuszált.

JAVASLATOK

A Víz Világnapja alkalmából megrendezett debreceni szakmai kerekasztal 2025-ben is lehetőséget teremtett arra, hogy az integrált városi vízgazdálkodás aktuális kérdéseit több szakterület képviselői közösen vitassák meg. Az eseményen mintegy 80 fő vett részt, köztük önkormányzati döntéshozók, vízügyi, agrár- és természetvédelmi szerve-

zetek képviselői, oktatók, kutatók, hallgatók és szakpolitikai szereplők. A felszólalások és a viták során kirajzolódott az a közös álláspont, hogy Debrecen és térsége csak széles körű, tudásalapú együttműködéssel képes alkalmazkodni a vízhasználati, vízkészlet- és klímavédelmi kihívásokhoz. A felszólalók közül kiemelendők:

- Prof. Dr. Stündl László, dékán (Debreceni Egyetem, MÉK) – megnyitóbeszédében hangsúlyozta a tudásalapú tervezés jelentőségét,
- Balázs Ákos, alpolgármester (Debrecen MJV) – köszöntőjében kiemelte a város klíma- és vízstratégiáinak összehangolását,
- Prof. Dr. Tamás János, egyetemi tanár (Debreceni Egyetem, MÉK) – a konferencia szakmai moderátoraként a tudásalapú vízgazdálkodási tervezés és az ITVT stratégiai szerepének fontosságát hangsúlyozta.
- Dargó Gabriella (Debrecen MJV Polgármesteri Hivatal) – a városfejlesztés és vízgazdálkodás kapcsolódási pontjait ismertette,
- Kuhn András, főkertész (Debrecen MJV) – a zöldfelületek szerepéről adott elő,
- Hamecz Orsolya (Debrecen MJV) – hozzászólásában a város lakossági vízhasználati szokásaira reflektált.
- Csűrös Krisztián, igazgató (TIVIZIG) – a felszíni és felszín alatti vízkészletek helyzetét, majd a csatornázás és szennyvízkezelés szempontjait is részletezte hozzászólásban,
- Holléry Tibor (Aquaticum Debrecen Kft.) – a rekreációs terek vízgazdálkodási vonatkozásait világította meg.
- Gorján Ferenc, vezérigazgató (Debreceni Vízmű Zrt.) – az ivóvíz- és szennyvízszolgáltatás aktuális kihívásait ismertette, valamint hozzászólásában az ipari együttműködésekre tért ki,
- Dr. Bálint Bálint László, a Hajdú-Bihar Vármegyei Kormányhivatal Népegészségügyi Főosztály főosztályvezetője a villámárvizek jelenségére hívta fel a figyelmet,

amelyek egyre gyakoribbá válnak a klímaváltozás hatására,

- Fejes Balázs, víziközmű-fejlesztési csoportvezető (Debreceni Infrastruktúra Fejlesztő, DIF) – az ipari vízhasználat stratégiai kérdéseit vázolta,
- Dr. Nagy Imre, tűzoltó ezredes, a Hajdú-Bihar Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság debreceni kirendeltségvezetője a tűzoltás és a lakossági vízfelhasználás közötti potenciális konfliktusokra hívta fel a figyelmet, különösen a vízhálózati kapacitások szempontjából,
- Prof. Dr. Nagy Attila, intézetigazgató egyetemi tanár (DE MÉK, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet) – a mezőgazdasági és erdészeti vízgazdálkodás integrációs lehetőségeit mutatta be,
- Topa Zoltán, osztályvezető (Hajdú-Bihar Vármegyei Kormányhivatal, Agrárügyi Főosztály, Növény- és Talajvédelmi Osztály) – hozzászólásában az agráragazat szabályozási kérdéseit hangsúlyozta,
- Pompola Krisztián, természetvédelmi őr (Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatóság) – előadásában a vizes élőhelyek természetvédelmi és rekreációs szerepét elemezte,
- Cserepes Norbert Ernő, ügyvezető elnök (Hajdú-Bihar Megyei Horgász Szervezetek Szövetsége) – a horgászati célú vízhasználatok aspektusait mutatta be,
- Dr. Aradi Csaba, ökológus – a természeti rendszerek és a városi vízstruktúrák összehangolásának fontosságára hívta fel a figyelmet.

A konferencián felmerült javaslatok közé tartozott a szakmai egyeztetések rendszeresítése, a közös adatplatform kialakítása, a lakossági szemléletformálás további erősítése, valamint az ipari és mezőgazdasági vízhasználatok térségi szintű összehangolása. A hozzászólók külön kiemelték az ITVT végrehajtásához szükséges pénzügyi, szabályozási és oktatási feltételrendszer megteremtésének fontosságát.



1-2. fotó. A Víz Világnapja 2025 szakmai kerekasztalának résztvevői a Debreceni Egyetemen (URL1)

Photos 1–2. Participants of the World Water Day 2025 professional roundtable at the University of Debrecen (URL1)

A KERÉKASZTAL-KONFERENCIA FŐBB MEGÁLLAPÍTÁSAI

Települési vízgazdálkodás kihívásai Debrecenben

Debrecen az elmúlt években intenzív gazdasági és infrastrukturális fejlődésen ment keresztül, amely a városi vízgazdálkodásra is jelentős nyomást gyakorol. A térség növekvő népességszáma, az új ipari és lakóövezetek fejlesztése, valamint a burkolt felületek arányának emelkedése együttesen hozzájárulnak a csapadékvíz természetes elvezetési és beszívargási lehetőségeinek csökkenéséhez, illetve a szennyvíz mennyiségének folyamatos növekedéséhez. Ezzel párhuzamosan a városi hősziget-hatás is egyre

erősebben jelentkezik, ami tovább növeli az öntözési és vízpótlási igényeket, különösen az aszályos időszakokban.

A szakmai fórumon elhangzott előadások és hozzászólások szerint a városi vízgazdálkodás jelenlegi kihívásai rendszerszintű megközelítést igényelnek, amelyben összehangoltan kell kezelni a vízelvezetési, szennyvízkezelési, csapadékvíz-hasznosítási és öntözési feladatokat. A résztvevők egyetértettek abban, hogy a város sikeres adaptációja a klímaváltozás hatásaihoz csak akkor valósulhat meg, ha a település vízháztartását teljes körűen átfogó, tudásalapú döntéshozatalra és hosszú távú tervezésre épül. A

rendszer szintű megközelítés igénye összhangban van az Országos Vízügyi Főigazgatóság által kiadott országos irányelvekkel, amelyek az integrált vízgazdálkodás városi és térségi szintű alkalmazását segítik elő (OVF 2023).

Integrált tervezés és az ITVT szerepe a városi vízgazdálkodásban

A fenntartható városfejlesztés egyik kulcseleme az integrált vízgazdálkodás, amely lehetőséget nyújt arra, hogy a különböző vízhasználati, -kezelési és -védelmi célok összehangolt rendszerként működjenek. Ennek megvalósítását segíti elő a Települési Integrált Vízgazdálkodási Terv (ITVT), amelynek gyakorlati alkalmazását az ITVT kidolgozásához készült országos segédlet is támogatja (OVF 2023). Az ITVT célja nem csupán a jelenlegi problémák kezelése, hanem a jövőbeli vízbiztonság megalapozása, különös tekintettel az éghajlatváltozásból fakadó vízháztartási egyenlőtlenségekre.

Debrecenben az ITVT kidolgozása már megkezdődött, a városfejlesztési és vízgazdálkodási stratégiai dokumentumok összehangolása pedig aktív szakmai együttműködésen alapul. A város célkitűzése, hogy a vízgazdálkodási tervezés a jövőben a közlekedési, zöldfelületi, energiapolitikai és építésügyi döntések egyenrangú részévé váljon. Ennek alapját a szak tudásra építő, adatvezérelt tervezés képezi. A résztvevők hangsúlyozták, hogy az ITVT hatékony megvalósításához szükség van folyamatos szakmai konzultációkra, valamint arra, hogy a közműszolgáltatók, az önkormányzatok, a természetvédelem, az agrárágazat és a tudományos élet szereplői közösen határozzák meg a térségi prioritásokat.

Az előadások rámutattak, hogy az ITVT csak akkor lehet hatékony, ha nem csupán szabályozási eszközként, hanem stratégiai szemléletformáló dokumentumként is működik, amely elősegíti a városi vízkörforgás minden elemének fenntartható működését – az ivóvízellátástól a csapadékvíz-kezelésen át egészen a szürkevíz újrahasználatáig.

Csapadékvíz-gazdálkodás és zöld infrastruktúra integrációja

A városi vízgazdálkodás megkerülhetetlen eleme a csapadékvíz helyben tartása és hasznosítása, különösen olyan dinamikus fejlődő térségekben, mint Debrecen. Az előadások és hozzászólások egybehangozóan hangsúlyozták, hogy a zöldfelületek, közparkok és fasorok nem csupán ökológiai és esztétikai jelentőséggel bírnak, hanem aktív szereplői a város csapadékvíz-gazdálkodásának. A burkolt felszín növekedése, a sűrű beépítés és a klímaváltozás hatásai együttesen indokolják, hogy a város újragondolja a víz természetes körforgásának fenntartását a beépített területeken is.

A gyakorlatban ez a megközelítés több irányban is megvalósul. A város közpark-fejlesztési programja során kiemelt figyelmet fordítanak a vízmegtartó képesség növelésére, a pufferterületek kialakítására, valamint az öntözési célú csapadékvíz-hasznosítás lehetőségeinek bővítésére. A szennyvíztisztító rendszerekre nehezedő terhelés csökkentése érdekében egyre nagyobb szerepet kap a decentralizált esővízkezelés, például zöldtetők, esőkertek, vízáteresztő burkolatok alkalmazásával.

Debrecen városvezetése több innovatív eszközzel is támogatja a lakossági vízmegtartást, például esővízgyűjtő hordók kihelyezésével. Az ilyen típusú beavatkozások egyben a társadalmi szemléletformálást is szolgálják, elősegítve, hogy a víz erőforrásként való kezelése a mindennapi gyakorlat részévé váljon.

A zöld infrastruktúra nemcsak vízgazdálkodási, hanem klímaadaptációs szempontból is kulcsfontosságú: a hőszigetelések mérséklése, a párologtatás biztosítása és a biológiai aktivitás növelése együttesen járulnak hozzá egy élhetőbb városi környezet kialakításához.

A CIVAQUA program és a térségi vízpótlás lehetőségei

A Debrecen környéki térség egyik legjelentősebb vízgazdálkodási fejlesztése a CIVAQUA program, amelynek első üteme már megvalósult: a Tisza vízének elvezetése a Tócsa-patak vízrendszerébe sikeresen megtörtént. A program célja többre: egyrészt hozzájárul a városi vízhiány enyhítéséhez és az ökológiai rendszerek vízpótlásához, másrészt hosszabb távon lehetőséget teremt az agrárterületek vízellátásának javítására is.

Az előadások alapján egyértelmű, hogy a térségi vízpótlás és a zöld-kék infrastruktúra fejlesztése nem csupán vízgazdálkodási, hanem tájhasználati és klímastratégiai kérdéssé is vált. A CIVAQUA második ütemében a cél a várost körülölelő „zöld és kék gyűrű” megvalósítása, amely egyszerre szolgál természetvédelmi, vízvi sszartartási és rekreációs funkciókat. A városi ökoparkok kialakítása, mint például a Tócsavölgyi Ökopark, ennek a koncepciónak a részeként valósul meg, ötvözve az élőhelyfejlesztést a lakossági használattal és edukációval.

A térségi vízpótlás sikeréhez nélkülözhetetlen a monitoring rendszerek és a valós idejű adatgyűjtés alkalmazása. A debreceni Környezeti Ellenőrző Rendszer (KER) ennek egyik példája, amely döntéstámogatási célokat szolgál, és hozzájárul a vízgazdálkodási intézkedések gyors és hatékony adaptálásához. Ugyancsak hangsúlyos szerepet kap a földhasználati és vízkészlet-gazdálkodási szempontok összehangolása, amely a térségi szintű tervezés alapját képezi.

A résztvevők rámutattak: a CIVAQUA-hoz hasonló nagyléptékű beavatkozások csak akkor válhatnak valóban fenntarthatóvá, ha azok nem csupán technikai, hanem ökológiai, társadalmi és agrárgazdasági szempontból is integrált módon kerülnek megvalósításra. Az ilyen nagyléptékű térségi vízgazdálkodási beavatkozások előkészítésében és végrehajtásában kulcsszerepet játszik az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) is, mint az állami vízügyi igazgatás koordináló szerve (URL2).

Lakossági szemléletformálás és közösségi megoldások szerepe

A fenntartható városi vízgazdálkodás megvalósításában nem elegendőek csupán az infrastruktúrafejlesztések és szakpolitikai eszközök – kulcsszerepet játszik a lakosság bevonása és tudatosítása is. A konferencia során több előadás és hozzászólás is rávilágított arra, hogy Debrecenben a társadalmi részvétel nemcsak lehetőség, hanem már

működő gyakorlat, amely kézzelfogható eredményekkel járul hozzá a víz körforgásban tartásához.

A városban több olyan lakossági program valósult meg az elmúlt években, amely kifejezetten a vízmegtartás és újrahasználat ösztönzését célozta. Ennek egyik példája az esővízgyűjtő hordók kiosztása, amelyből mintegy 7000 darabot juttattak el a háztartásokba, elősegítve ezzel a kertek öntözésére használt ivóvíz kiváltását, és a csapadék helyben történő hasznosítását.

Külön említést érdemel a használt sütőolaj begyűjtésére és biodízel előállítására indított kezdeményezés is, amelyet a város egy helyi vállalkozással együttműködve valósít meg. A rendszer jól példázza, hogyan lehet a víz- és energiapolitikai célokat körforgásos megközelítéssel összekapcsolni, miközben a lakosság aktív szereplőként vesz részt a fenntarthatóságban.

A konferencián bemutatott klímaadaptációs és szemléletformáló programok (pl. LIFE-projektek, Citizen Science, Future of Debrecen) a lakossági szemléletváltást célozzák, különös tekintettel a városi hőszigetelés csökkentésére, a zöldfelületek fontosságára, valamint a csapadékvíz-visszatartás ösztönzésére. Ezek a kezdeményezések fontos hidat képeznek a stratégiai célkitűzések és a mindennapi gyakorlat között, hiszen az érdemi alkalmazkodás csak a közösségi szerepvállalás erősítésével valósítható meg.

Az ipari és agrár vízgazdálkodás integrációs lehetőségei

A városi és térségi vízgazdálkodás komplex rendszere nem csupán a lakossági és közszolgáltatási felhasználók igényeire reagál, hanem integrálnia kell az ipari és mezőgazdasági vízhatalomok jelentősebb és növekvő szerepét is. A fórum szakmai előadásai és hozzászólásai hangsúlyozták, hogy az ipari vízhasználat fenntarthatósága nemcsak környezeti, hanem gazdasági és városstratégiai kérdés is, különösen olyan térségekben, ahol a vízkészletek korlátozottan állnak rendelkezésre.

Az ipari parkokban működő vállalatok egy része már alkalmaz belső újrahasznosítási megoldásokat – ilyen például a szürkevíz visszaforgatása vagy zárt vízkörök kiépítése –, ami hozzájárulhat a városi vízháztartás kiegyensúlyozásához és a vízfelhasználás hatékonyságának növeléséhez. E folyamatok azonban további ösztönző és szabályozási eszközöket igényelnek, különösen az adatgyűjtés, engedélyezés és monitoring szintjén.

A mezőgazdasági vízhasználat kapcsán megfogalmazódott, hogy az éghajlatváltozás következtében fellépő aszályhajlam és csapadékszélsőségek következtében az öntözési igények egyre fokozódnak, miközben a rendelkezésre álló vízkészletek térben és időben nem mindenütt elegendőek. A vízkivételi engedélyezési eljárások, valamint az öntözésfejlesztés támogatási rendszereinek adaptálása elengedhetetlenné vált.

Külön figyelmet kaptak azok a térségek, ahol a vízkészletek terhelhetősége elérte vagy megközelítette a kritikus szintet. Itt elengedhetetlen a vízhasználatok összehangolása és az agrár-ökológiai adottságokhoz igazodó gazdálkodási modellek kidolgozása. A térségi szintű víz-

gazdálkodás megalapozásához átfogó adatbázisra, integrált információs rendszerekre, szimulációs modellekre és hosszú távú vízháztartási előrejelzésekre van szükség.

Az ipari és mezőgazdasági szektor együttműködése, valamint a városi és térségi vízhasználati célok összehangolása kulcskérdés a fenntartható vízgazdálkodás megvalósítása szempontjából.

Víztudomány gyakorlati alkalmazási lehetőségei

Az ország egyik legjelentősebb egyetemének és a városnak nagyon szorosak a kapcsolatai a víztudományok területén is. A város vezetése folyamatosan támaszkodik az egyetemi oktatókra és kutatókra a gyakorlati kihívások megoldásainak kidolgozásakor. Ennek fontos eredménye, hogy elkészült a város környezeti stratégiája a Zöld Kódex, amely már önálló vízgazdálkodási fejezetet tartalmaz, és összhangban van az ITVT segédletben rögzített integrált tervezési elvekkel (*DMJV 2024*). Nemzetközileg is egyedülálló a most üzembe álló környezeti ellenőrzési rendszer a Zöld Őrszem, amely szintén az egyetem szakmai felügyelete mellett valósult meg. Ennek vízgazdálkodási monitoringja automata mérőhálózat segítségével gyűjt felszíni és felszínalatti vízkészletekről kvázi valós idejű adatokat. Fontos a városi környezeti gyakorlat nemzetközi megmérése is, amelyet Európa Zöld Fővárosa cím előzetes pozitív értékelése is jelez. A Debrecen Egyetem a vízgazdálkodási képzések valamennyi szintjén képez szakembereket és folytatnak felnőttképzést. A nemzetközi kutatás infrastruktúrái speciális mérési lehetőséget és modellezési kapacitásokat jelentenek a környezeti forgatókönyvek kidolgozásához, ahol a vízdigitalizáció felgyorsítása összességében a SMART city megvalósítása fontos cél.

ÖSSZEFOGLALÁS

A városi vízgazdálkodás a növekvő urbanizációs nyomás alatt számos és folyamatosan változó kihívásnak van kitéve, amely az eddigi gyakorlat megváltoztatásával oldható meg. Debrecen MJV esetében ez a folyamat felgyorsult.

A Víz Világnapja alkalmából megrendezett debreceni szakmai fórum világosan megmutatta, hogy a vízgazdálkodás jövője nem csupán műszaki vagy környezetvédelmi kérdés, hanem összetett társadalmi, gazdasági és stratégiai kihívás, amely rendszerszintű megközelítést és széles körű együttműködést kíván meg.

A konferencia előadásai és hozzászólásai megerősítettek, hogy az integrált tervezés, a valós idejű adatalapú döntéshozatal, valamint a szektorok közötti koordináció nélkülözhetetlen a klímaváltozás hatásainak kezelésében. A résztvevők egyetértettek abban, hogy a fenntartható vízgazdálkodás érdekében elengedhetetlen a városfejlesztési, ipari, mezőgazdasági és természetvédelmi szempontok összehangolása, valamint a meglévő tudásbázisok és jó gyakorlatok rendszerezett megosztása.

A fórum célkitűzése, miszerint az elhangzott szakmai javaslatok és állásfoglalások hosszabb távon is alapot képezhetnek a döntéshozók és tervezők számára, teljesült. Különösen fontos az a felismerés, hogy a megoldások helyi

szinten születnek, de hatásuk regionális és országos szinten is érvényesülhet. Ezt szolgálják a továbbiakban is tervezett szakmai egyeztetések, deklarációk és tudástranszfert támogató rendezvények. A város az egyetemmel meghatározó a Tisza vízgyűjtőjén ebben a feladatban.

A debreceni példa azt is bizonyítja, hogy a vízgazdálkodás komplexitása nem csak akadály, hanem lehetőség is, amennyiben a különböző érintettek – az önkormányzat, a tudományos szféra, a gazdasági szereplők és a lakosság – egyaránt részt vesznek a közös gondolkodásban. A résztvevők nyitottsága, szakmai elkötelezettsége és együttműködési szándéka biztató alapot jelent egy olyan jövőorientált vízstratégia kialakításához, amely egyszerre képes választ adni az éghajlati kihívásokra, a vízbiztonság kérdésére és a fenntartható területfejlesztés igényeire.

IRODALOMJEGYZÉK

DMJV (2024). Zöld Kódex. Települési Környezetvédelmi Program 2023-2026. Debrecen Megyei Jogú Város

OVF (2023). Tervezési segédlet az Integrált Települési Vízgazdálkodási Terv készítéséhez. Országos Vízügyi Főigazgatóság, Magyar Mérnöki Kamara, Vízgazdálkodási és Vízépítés Tagozat.

Tamás J., Nagy A. (2023). A Tiszántúl területi integrált vízgyűjtőgazdálkodási problémáinak és megoldási lehetőségeinek azonosítása, a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) hatásterületén. Hidrológiai Közöny, 103(3), 64-67. <https://doi.org/10.59258/hk>

Tamás J., Nagy A., Kiss N.É. (2024). Területi és települési vízgazdálkodás integrációs feladatainak áttekintése a Tisza-Körös völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) hatásterületén. Hidrológiai Közöny, 104(4), 63-67. <https://doi.org/10.59258/hk.17597>

Internetes források:

URL1: Debreceni Egyetem, Médiatár, Területi és települési vízgazdálkodás konferencia: <https://unideb.hu/photoalbum/album?id=r5577348>

URL2: ovf.hu

SZERZŐK



TAMÁS JÁNOS a Debreceni Egyetem, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetének igazgatója; agrármérnök, agro-kémiai, vízgazdálkodási és térinformatikai szakmérnök. 2007-ben megkapta Magyar Tudományos Akadémia Doktora címet. Elismerései: Az év publikációja díj, Környezetért díj, Sajó Elemér vízgazdálkodásért díj, Hatvani professzori kutatási díj, Magyar Köztársaság Lovagkeresztje. Publikációinak száma több, mint 800, könyvek száma 21. Több szakkönyvet jegyzett a precíziós mezőgazdaság és a vízgazdálkodás területén. Szűkebb szakterülete a talaj és a környezet állapotának modellezése térinformatikai és távérzékelési eszközökkel. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja, a Hidrológiai Közöny szerkesztőbizottságának 2015 óta tagja.



NAGY ATTILA a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán egyetemi tanár. 2005-ben szerzett környezetgazdálkodási agrármérnök diplomát, PhD fokozatot 2009-ben szerezte meg, 2016-ban habilitált, 2023 óta egyetemi tanár. Tudományos pályája során korábban fitoremediációval foglalkozott. Jelenleg a távérzékelés és térinformatika vízgazdálkodási folyamatokban való alkalmazása, aszály okozta stresszhatások, mezőgazdasági vízgazdálkodás kritikus vízforgalmi tényezőinek értékelése területén végez kutatásokat. Elismerések: Debreceni Egyetem rektorának elismerő oklevele 2012., Magyary Zoltán Posztdoktori ösztöndíj (2013-2014). Bolyai János Kutatási Ösztöndíjas (2022-). A Magyar Hidrológiai Társaság tagja 2015 óta.



KISS NIKOLETT ÉVA a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán adjunktus. 2016-ban környezetgazdálkodási agrármérnök diplomát, 2022-ben PhD fokozatot szerzett. Doktori értekezésében egy körforgásos gazdálkodás életciklus-értékelésével foglalkozott. Jelenleg az életciklus-értékelés mellett mezőgazdasági vízgazdálkodás területén is végez kutatásokat. Ösztöndíjak, elismerések: CEEPUS hallgatói és oktatói mobilitási ösztöndíj: BOKU, Vienna. K&H a fenntartható agráriumért ösztöndíjpályázat 2022. - I. helyezés PhD kategóriában. 2024. évi MTA Környezetvédelmi Tudományos Ifjúsági Pályadíj, Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program (EKÖP) 2024/2025.

Események



A Vízyűjtő-gazdálkodási Tervek 6 évente jelölik ki az ország legfontosabb vízgazdálkodási feladatait. Rovatunkban a 4. Vízyűjtő-gazdálkodási Terv (VGT4) nyitó eseményéről számolunk be.



A negyedik Vízyűjtő-gazdálkodási Terv elkészítése

projektnyitó esemény

2025. szeptember 30.



Rentz Tamás helyettes államtitkár előadása

Talán soha nem volt ennyire sürgető a legfontosabb vízgazdálkodási problémáink áttekintése.

A süllyedő talajvízszintek, a súlyos csapadékhiányos időszakok, a villámárvizek, a vizeinkkel kapcsolatos minőségi és mennyiségi kihívások hatalmas feladatok elé állítják az ágazatot és a vízhasználókat.

Az Európai Bizottság évtizedekkel ezelőtt felismerte, hogy a szennyezések, a túlzott mértékű vízkivételek, valamint a vizek hidromorfológiai állapotának megváltoztatása veszélybe sodorták az európai vízkészleteket. Ez a felismerés vezetett oda, hogy a Víz Keretirányelv (VKI) 2000. december 22-i hatályba léptetésével megszületett az Európai Unió új vízpolitikája, amely jogi keretet ad vizeink védelméhez. Az irányelv végrehajtásának első lépéseként Magyarország első vízyűjtő-gazdálkodási terve 2010 áprilisára készült el.

Az első vízyűjtő-gazdálkodási terv most harmadszor kerül felülvizsgálatra, amit az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) és a 12 területi vízügyi igazgatóság konzorciuma valósít meg "A negyedik Vízyűjtő-gazdálkodási Terv elkészítése" című, KEHOP_PLUSZ-1.2.21-24-2024-00002 számú projekttel a Széchenyi Terv Plusz program keretében.

A Negyedik Vízyűjtő-gazdálkodási Terv (VGT4) nyitó eseményén Gacsályi József műszaki főigazgató-helyettes (OVF) beszédében kiemelte a víz fontosságát, az ágazat előtt tornyosuló problémákat és azokat az új vízügyi kezdeményezéseket, amelyek a megoldáshoz vezethetnek.

Rentz Tamás az Energiaügyi Minisztérium vízgazdálkodásért felelős helyettes államtitkára bemutatta az ágazat tervezett projektjeit, melyek zöme a vízviszátartást segíti.

Kovács Péter (OVF) Magyarország Víz Igazgatója a közeljövő feladatainak számbavétele után így fogalmazott: „a 2000 óta hatályos VKI ugyan kijelöli az utat, de azon nagyon nehéz végig menni, vagyis a feladatokat teljesíteni.”

Tahy Ágnes (OVF) a VGT4 projektvezetője bemutatta a tervezés folyamatát és a legfőbb kihívásokat így nevesítette: „az éghajlat változik, a biodiverzitás csökken, a természeti (vízkészlet) és humán erőforrások végesek és fenyegetőek a vízszennyezések.”

A VGT4 intézkedési programjai:

- Vizek fenntartható használata: alkalmazkodás, sérülékenységi csökkentése;
- Az ivóvízellátás kockázatkezelésének intézkedései;
- A települési szennyvízre vonatkozó intézkedések felülvizsgálata;
- A közcsonnába vezetett ipari szennyvizek és a közvetlen bevezetések megfelelésének vizsgálata;
- Iszaphasznosítási intézkedés felülvizsgálata: foszfor és a nitrogén újrahasználat, újrafeldolgozás, vízszanyszerés;
- Hidromorfológiai és táj-/vízyűjtő-gazdálkodási intézkedések felülvizsgálata a természet-helyreállítási rendellel összhangban;
- Monitoring és szabályozási intézkedések.

A vízzel kapcsolatos kérdésekben mindenki érintett, ezért a társadalom bevonása elemi része a tervezési munkáknak. Ennek során a tervezők állami, önkormányzati és társadalmi szervezeteket közvetlenül megkeresnek, de a véleményezési folyamatba magánszemélyek is bekapcsolódhatnak a <https://vizeink.hu/> honlapon elhelyezett vitaanyagok és a véleményezési űrlapok segítségével.

A projekt az Európai Regionális Fejlesztési Alap és Magyarország költségvetése társfinanszírozásban 1,8 milliárd forintból valósul meg. A munkák befejezésének tervezett határideje: 2028. 03. 31.

Major Veronika

Köszöntő



Szilágyi József akadémikus, a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagja



2025. május 7-én, a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) 199. közgyűlésén Szilágyi Józsefet, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének egyetemi tanárát, az MTA doktorát, levelező taggá választották. Az Akadémia alapszabálya szerint levelező taggá az a magyar állampolgár választható meg, aki az MTA doktora címmel vagy azzal egyenértékűnek minősített tudományos fokozattal rendelkezik, és aki tudományát elismerten és különösen magas színvonalon, alkotó módon műveli.

Szilágyi József Újfehértón született 1964-ben. A hidrológiai szakágazattal kiegészített okleveles meteorológus diplomáját az ELTE Földtudományi Karán szerezte meg 1989-ben. 1992-ig a VITUKI Országos Vízjelző Szolgálatának operatív hidrometeorológusa volt. 1994-ben a New

Hampshire-i (USA) Egyetemen hidrológiai MSc, majd 1997-ben a Kaliforniai Egyetemen (Davis) PhD fokozatot kapott. 2005-ig a Nebraskai Egyetem (Lincoln) kutatójaként, majd a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem docenseként dolgozott. 2005 óta az MTA doktora, 2009-ben nevezték ki a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéke egyetemi tanárává. Jelenleg az MTA Vízgazdálkodástudományi Bizottság elnöke, a Journal of Hydrology szerkesztőbizottsági tagja. Az utóbbi években lapunkban, a Hidrológiai Közönyben is több kimagasló közleménye jelent meg.

Tudományos munkássága a hidrológiai és hidrometeorológiai folyamatok alaposabb megértésére, illetve az így nyert tudás vízmérnöki alkalmazására irányul. Nemzetközi szakfolyóiratokban publikált cikksorozatával és a Szőlősi-Nagy Andrásal közösen, 2010-ben a Taylor & Francisnél megjelentetett szakkönyvi összefoglalásával egyedülálló, az Országos Vízjelző Szolgálat által ma is operatíván alkalmazott rekurzív árhullám-transzformációs séma kidolgozásában vett részt. A területi párolgás folyamatának újszerű termodinamikai leírásával olyan széles körben alkalmazható eljárást fejlesztett ki, amely meteorológiai és műholdas távérzékelési adatok segítségével lehetővé teszi a területi párolgás, valamint a talajvíz utánpótlódásának nagyléptékű térképezését. A kizárólag meteorológiai méréseken alapuló, kalibrációmentes párolgásbecslő módszere a klímamodellektől függetlenül segíti elő a szárazföldek párolgásának klímaváltozást is figyelembevevő globális értékének és hosszú távú trendjének a pontosítását. Eredményei itthon és külföldön a tudomány, az oktatás és a gyakorlat terén egyaránt széles körben hasznosultak. 2022-ben Vásárhelyi Pál-díjban, 2024-ben Akadémiai Díjban részesült.



2025. szeptember 5-én Szilágyi József az Akadémián nagy elismerés mellett tartotta meg székfoglaló előadását, melynek témája: „*A területi párolgás komplementáris elmélete a hidrológiai gyakorlatban*”.

Az előadás a következő linken követhető nyomon: <https://www.youtube.com/watch?v=vfWxgphzHeU>

Szakmailag kik voltak e sikeres tudományos pálya alakulását meghatározóan előmozdító személyiségek?

A találkozások sorrendjében:

Először is *Tél Tamás* fizikus professzor az ELTE-ről. Szakmai tudását, felkészültségét, precizitását azóta is, hogy Hidrodinamikát hallgattam tőle, etalonnak tartom. Tél Tamás órájára készítettem egy parciális differenciál egyenletet numerikusan kiintegráló programot a VITUKI-ban, úgy, hogy számítógépet is csak ott láttam először,

Azután *Józsa János* akadémikus, akinek a diákokkal való törődése, a diákok munkájára irányuló érdeklődése és ösztönzése igen erős pozitív visszacsatolást jelentett nekem abban, amit csináltam. Ez az emberekkel való személyes törődés, gondolom sok más fiatal kollégát is elindított a szakmai útján, vagy adott támaszt karrierjének kiteljesedésében.

Bartha Péter, az Országos Vízeljáró Szolgálat egykori vezetője, aki szeretettel vett vissza a Szolgálatához két nappal azután, hogy azt otthagytam a nagyobb pénzkereset – ekkor már két gyermekem is volt – reményében. Nem tartott soká, hogy rájöjjenek, az üzleti versenyszféra nem az én világom.

Végezetül *Marc Parlange*, doktori témavezetőm a Kaliforniai Egyetemről, aki hagyta, hogy a turbulens légköri áramlások igen bonyolult, de kevésbé látványos témaköréről átnyergeljek a vízgyűjtőhidrológia színes, térinformatikára épülő világába, hogy azután jó pár évvel később per sze visszatérjek áttételesen az előzőhöz.

Hogy látja új akadémikusunk, melyek a szakma legnagyobb kihívásai?

A tudomány – beleértve a hidrometeorológiát, ami szűk szakterületem – előtti legnagyobb kihívásnak azt tartom, hogy mindig sikerüljön elkerülni egy állítás, gondolat vagy tétel dogmává válását. Egy „tudományosan bebetonozott” dogma borzasztóan káros a világ megismerésének és a kihívásokra adott adekvát válaszok megtalálásának szempontjából.

Ezekkel a gondolatokkal tisztelettel köszöntjük a víz-tudományok új akadémikusát, Szilágyi Józsefet!

Major Veronika
A Hidrológiai Közlöny főszerkesztője



Az akadémikusi oklevél átadása
Handing over the academic diploma

Nekrológ



Élünk és meghalunk. Ez az élet rendje. Mégis, nehéz elfogadni, ha olyan embertől, baráttól, tudóstól kell elbúcsúznunk, akinek kimagasló tudása, probléma megoldó képessége, kivételes egyénisége beragyogja a vizes szakmát. Hiányozni fog széleslátása, okossága és kivételes intelligenciája.

Somlyódy László a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karának áramlástechnika szakán 1967-ben szerzett gépészmérnöki diplomát. Ezt követően a Szellőzőműveknél dolgozott fejlesztőmérnöként, majd 1972-ben a Vízgazdálkodási Tudományos Kutatóintézet (VITUKI) került, ahol a Vízépítési Intézet igazgatóhelyettesi, majd a Vízminőségvédelmi Intézet igazgatói pozícióját töltötte be. 1990-ben a VITUKI főigazgatójává nevezték ki. 1992-ben a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karán kapott egyetemi tanári kinevezést a Vízellátás-csatornázás Tanszékre. 1996-ban bízták meg a tanszék vezetésével, mely munkakört a tanszék Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszékké történt átszervezése után is megtartott.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszékének Széchenyi-díjas professzor emeritusa, az MTA rendes tagja, valamint több külföldi akadémia tagja. Több, mint százhatvan tudományos publikáció, köztük tizenegy könyv szerzője vagy társszerzője volt. Művei magyar és angol nyelven jelentek meg. Szakmai-tudományos ars poetica-ját a „Felszíni vizek minősége – Modellezés és Szabályozás” című önéletrajzi könyvében (Typotex, 2018) foglalta az utókornak egyedülállóan magas színvonalon össze.

Számtalan díj, kitüntetés tulajdonosa: Kiváló Munkáért (1985), Vitális Sándor Szakirodalmi Nívódíj (1987), Gábor Dénes Díj (1999), Deák Ferenc Kutatási díj (Pro Renovanda Cultura Hungariae) (2002), Széchenyi-díj (2002), Árvíz-védekezési Díj (Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium) (2006), Környezetvédelmi Felsőoktatási Díj (Magyar Mérnök Kamara) (2007), Hazám-díj (XXI. Század Társaság) (2009), Magyar Köztársaság Érdemrend középkeresztje (2010), Pro Renovata Cultura Hungariae Alapítvány fődíja (2010), Klímaklub Életműdíj (2013), József Nádor Emlékérem (2015). A

Somlyódy László

(Kecskemét, 1943. szeptember 30. - Budapest, 2025. november 4.)

Magyar Hidrológiai Társaság Tiszteleti Tagja (2024) és a Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség Tiszteletbeli Elnöke.

A 2007-es Nobel-békedíjat az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) és Albert Arnold (Al) Gore Jr. kapta közösen „az ember által előidézett éghajlatváltozással kapcsolatos ismeretek bővítésére és terjesztésére, valamint az éghajlatváltozás alapjainak lefektetésére tett erőfeszítéseikért”. Somlyódy László és néhány magyar tudós, bizottsági tagként részesült ebben az elismerésben.

Érdeklődése főként a felszíni vizek mennyiségi és minőségi kérdéseire kapcsolódik, úgymint a szennyvizek elkeveredése; az áramlás és az anyagtranszport numerikus modellezése; sekély tavak és a Balaton eutrofizálódása; a Balaton vízpótlása; mikroszennyezők és azok monitoringja a Sajó folyón; költség-hatékony szennyvíztisztítás. Foglalkozott felszíni vizekkel közép-európai országokban, Kanadában, Brazíliában, Szingapúrban és Kínában.

A vízminőségi szabályozás területén vízminőségi modelleket és költség-hatékonysági stratégiákat dolgozott ki, elsősorban kelet-közép-európai vizekre és vízgyűjtőkre. Foglalkozott továbbá a tavak eutrofizációjának szabályozásával, valamint matematikai modellek és rendszerelemzési módszerek alkalmazásával az áramlástan és vízminőség-szabályozás területén.

Kiemelkedő a Balaton megmentése érdekében végzett munkássága, melyről így vallott:

A Balaton esetében szerencsés dolog volt a tudomány és a politika összefogása, közös akarata. A politikusok megértették, hogy a Balaton értékét a víz minősége határozza meg. ... De ne gondoljuk, hogy a feladatot elvégeztük. A tó folyamatos törődést, monitoringot igényel.

A Mindentudás Egyeteme, mely szerethetővé és érthetővé teszi mindenki számára a tudományt a matematikától az agykutatásig, 2003-ban feltette a kérdést Somlyódy Lászlónak: mekkora a felelősségünk abban, hogy a jövő generációk is elegendő tiszta vízhez juthassanak, és mit tehet a társadalom és az egyes ember azért, hogy vizeink egészségesek legyenek? A választ „Az értől az óceánig - a víz: a jövő kihívása” című tanulságos előadásában adta meg: *Az értől az óceánig – A víz, a jövő kihívása.*

Szakmai öröksége mindannyiunk munkájában tovább él. Emlékét hálával és tisztelettel adjuk tovább a jövő nemzedékének. Örökségét megőrizzük.

Nyugodjék békében!!



Major Veronika

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/Hidrológiai-Kozlony-Kozlesi_Utmutato_ANGOL_kivonat.pdf

A Hidrológiai Közlöny Szerkesztőbizottsága