

# HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 101. ÉVF. 2. SZÁM • 2021  
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 101. No. 2. • 2021





## Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja  
Megjelenik háromhavonként

### Főszerkesztő

Fehér János

### Szakszerkesztők

Ács Éva  
Konecsny Károly  
Nagy László

### Olvasószerkesztő

Szlávik Lajos

### Szerkesztőbizottság elnöke

Szöllősi-Nagy András

### Szerkesztőbizottság tagjai

Ács Éva, Bakonyi Péter, Baranyai Gábor, Baross Károly, Bíró Péter†, Bíró Tibor, Bogárdi János, Bozán Csaba, Csörnyei Géza, Engi Zsuzsanna, Fehér János, Fejér László, Gayer József, Hajnal Géza, Honti Márk, Ijjas István, Józsa János, Kerekesné Steindl Zsuzsanna, Kling Zoltán, Konecsny Károly, Koris Kálmán, Kovács Sándor, Kuti László, 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  
Email: titkarsag@hidrologia.hu  
Honlap: www.hidrologia.hu  
A Kiadó képviselője: Szlávik Lajos, a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke

### Hirdetés

Magyar Hidrológiai Társaság Titkarsága  
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.  
Telefon: (1)-201-7655 Fax: (1)-202-7244  
Email: titkarsag@hidrologia.hu

### Indexelik

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr.  
Fluidex; Geotechn. Abstr.; Meteor /  
Geostrophys. Abstr. Sei.; Water Res.  
Abstr.

Index: 25374  
HU ISSN 0018-1323

## Tartalomjegyzék

### SZAKCIKKEK

Szlávik Lajos: 20 éve volt a 2001. márciusi beregi árvízkatasztrófa .....	3
Garai József: A hidraulikus talajtörés globális és lokális feltételei .....	26
Miklós Rita, Lénárt László, Darabos Enikő, Kovács Attila, Czesznak László, Pelczéder Ágnes, Szűcs Péter: A Bükk hegység karsztvízkészleteinek feltárása és hasznosítása .....	31
Csondor Katalin, Baják Petra, Heinz Surbeck, Izsák Bálint, Horváth Ákos, Vargha Márta, Pándics Tamás, Eröss Anita: Parti szűrésű vízbázisok természetes radioaktivitása nuklidspecifikus mérések tapasztalatai alapján .....	44
Kiss Tímea, Fórián Szilveszter, Sipos György: A Tisza és mellékfolyói üledékében a mikroműanyag szennyezettség mértéke Rahó és Mindszent között .....	54
Túri Norbert: Egy tiszántúli talajcsövezett mintaterület állapotfelmérési lehetőségeinek, valamint működési hatékonyságának vizsgálata .....	62
Pánya István: A Vajas folyó a történeti forrásokban .....	72

### NEKROLÓG

Dr. Bíró Péter – Szlávik Lajos és Boros Emil megemlékezése ..	81
---------------------------------------------------------------	----

Címlapkép:

A 42. és 42a. számú termálkút Egerszalókon. (Lénárt László felvétele.)



## Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society  
Published quarterly

### Editor-in-Chief

János FEHÉR

### Assistant Editors

Éva ÁCS  
Károly KONECSNY  
László NAGY

### Copy Editor

Lajos SZLÁVIK

### Editorial Board Chairman

András SZÖLLŐSI-NAGY

### Editorial Board Members

Éva ÁCS, Péter BAKONYI, Gábor BARANYAI, Károly BAROSS, Péter BÍRÓ†, Tibor BÍRÓ, János BOGÁRDI, Csaba BOZÁN, Géza CSÖRNYEI, Zsuzsanna ENGI, János FEHÉR, László FEJÉR, József GAYER, Géza HAJNAL, Márk HONTI, István IJJAS, János JÓZSA, Zsuzsanna KERESKÉSNÉ STEINDL, Zoltán KLING, Károly KONECSNY, Kálmán KORIS, Sándor KOVÁCS, László KUTI, 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: Lajos SZLÁVIK, President  
of the Hungarian Hydrological Society  
Email: titkarsag@hidrologia.hu

### Advertising

Secretariat of the Hungarian Hydrological  
Society  
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary  
Phone: +36-(1)-201-7655. Fax: +36-(1)-202-7244  
Email: titkarsag@hidrologia.hu

### Indexed in

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr. Flu-  
idex.; Geotechn. Abstr.; Meteor / Geo-  
astrophys. Abstr. Sei.; Water Res. Abstr.  
Index: 25374  
HU ISSN 0018-1323

## Contents

### SCIENTIFIC PAPERS

- Lajos SZLÁVIK: The March 2001 flood disaster in Bereg  
was 20 years ago ..... 3
- József GARAI: Global and local criteria for hydraulic heave ... 26
- Rita MIKLÓS, László LÉNÁRT, Enikő DARABOS, Attila  
KOVÁCS, László CZESZNAK, Ágnes PELCZÉDER,  
Péter SZÜCS: Exploration and utilization of the karst  
water resources in the Bükk Mountains, Hungary ..... 31
- Katalin CSONDOR, Petra BAJÁK, Heinz SURBECK, Bálint  
IZSÁK, Ákos HORVÁTH, Márta VARGHA, Tamás  
PÁNDICS, Anita ERŐSS: Natural radioactivity of river  
bank filtered water systems based on the experience of  
nuclide-specific measurements ..... 44
- Tímea KISS, Szilveszter FÓRIÁN, György SIPOS:  
Microplastic pollution in the sediments of the Tisza River  
and its tributaries between Rahiv, Ukraine and Mindszent,  
Hungary ..... 54
- Norbert TÚRI: Investigation of the status assessment  
possibilities and operational efficiency of a Trans-Tisza  
tile-drained sample area ..... 62
- István PÁNYA: The Vajas River in historical sources ..... 72
- ### OBITUARY
- Dr. Péter BÍRÓ – Commemoration by Lajos SZLÁVIK and  
Emil BOROS ..... 81

Cover photo:

The No.42 and No.42a. thermal wells in Egerszalók. (Photo by László LÉNÁRT.)



## 20 éve volt a 2001. márciusi beregi árvíz-katasztrófa

Szlávik Lajos

Professor Emeritus, egyetemi magántanár, a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke

### Kivonat

Az árvizet közvetlenül az váltotta ki, hogy a Tivadar feletti vízgyűjtőn, a Kárpátokban, a még meglévő, 70 mm hóvízkészletre – több hullámban – heves, helyenként 200 mm-t meghaladó zápor hullott. Rendkívül heves áradás kezdődött; Záhonyig az addigi legnagyobb víz (LNV) feletti vízállások alakultak ki; a vízhozam is meghaladta az addigi maximumot. Kárpátalján töltésszakadások következtek be, jelentős területek kerültek víz alá.

A Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (FETIVIZIG) védelemvezetése teljes személyi állományát mozgósította. Az Országos Műszaki Irányító Törzs (OMIT) elrendelte az általános készültséget a teljes vízügyi szolgálatban, kezdeményezte a honvédségi erők azonnali igénybevételét és javaslatot tett a Kormánynak a veszélyhelyzet kihirdetésére. A Kormány az árvízvédekezési veszélyhelyzetet Szabolcs-Szatmár-Bereg megyére 2001. március 6-án 12 órától megállapította, és elrendelte a rendkívüli készültséget a Felső-Tisza-vidék érintett folyószakaszaira. A rendkívüli árvízvédelmi készültség 2001. március 21-én 12 óráig tartott.

A Felső-Tisza jobb partján több mint 30 km hosszón 40-50 cm magas nyúlgátok tartották a vizet. A kiépítetlen tarpai töltésszakaszon 6 óra alatt 16 suvadás, ezekből pedig két helyen kivédhetetlen gátszakadás alakult ki; a kitörő víz megállítására nem volt esély. A szakadásokon összesen 120-140 millió m<sup>3</sup> víz ömlött ki a beregi öblözet területére.

A védelemvezetés a lokalizálás lehetőségeit kihasználva, irányított vízlevezetést alkalmazott. Az öblözetben 20 település volt érintve: hét teljes egészében, kettő részben elöntésre került, a többi vízkormányzással, lokalizáló töltésekkel sikerült megvédeni. A térségből összesen 11 191 embert kimenekítettek, kitelepítettek, 6 746 helyi lakos pedig a védelmi munkákra a helyszínen maradt. A védekezésben egyidejűleg csúcspannban több mint 15 ezer ember vett részt.

Az öblözet ukrán területén 5 település került teljes egészében vagy részben elöntésre. A magyar segítség az első pillanattól kezdve jelen volt az ukrán védekezés végrehajtásában és szervezésében.

A vízkivezetés az elöntött öblözetből – magyar és ukrán területen – gravitációs, valamint a stabil szivattyútelepekkel, továbbá 30 m<sup>3</sup>/s kapacitású, összesen 145 db mobil szivattyúval történt. A belterületeken a leghosszabb vízborítás 29 napig tartott. A magyar és az ukrán szakemberek együtt vettek részt a védekezési munkákban.

A FETIVIZIG védműveiben jelentős károk keletkeztek. A tarpai helyreállítás május 14-én, a tönkrement töltésszakaszok teljes mértékben novemberben fejeződött be.

Az elöntött Beregben a személyi, önkormányzati és egyházi tulajdonú épületekben és más építményekben súlyos károk keletkeztek, 2 870 lakóépület károsodott. A lakóingatlanok 2001. december végéig történt helyreállításának kivitelezésében 240 alvállalkozó vett részt, csúcsidőszakban közel 10 000 fő dolgozott itt.

A 2001. márciusi árvízi események során a védtöltés kiépítetlenségéből fakadó töltésszakadások és a települések elöntése ellenére, a védekező szervezetek együttműködésének köszönhetően, a fegyelmezett és jól szervezett védekezéssel, az irányított vízlevezetéssel és lokalizálás eredményeképpen a károkat – bár jelentősek voltak – sikerült minimalizálni, és az árvíz emberéletet nem követelt.

Ezt az árvizet követően indult meg 2003-tól az új Tisza-völgyi árvízvédelmi koncepció, a Vásárhelyi-terv Továbbfejlesztése (VTT), amelynek keretében eddig hat síkvidéki körtöltéses árvíz-tározó épült meg a Tisza völgyében.

### Kulcsszavak

Árvíz, Felső-Tisza, Palád, Túr, beregi öblözet, árvíz-előrejelzés, rézsúcsúszás, töltésszakadás, töltéssuvadás, töltésszakadás, kimenekítés, kitelepítés, lokalizálás, ideiglenes elzárás, vízviSSzavezetés, árhullámkép-rekonstrukció, árvízi elöntés modellezése, árvíz-károk, helyreállítás.

## The March 2001 flood disaster in Bereg was 20 years ago

### Abstract

The flood was directly triggered by heavy rainfall of over 200 mm in places in several waves on the remaining 70 mm of snow water in the Carpathian basin above Tivadar. Extremely heavy flooding started; water levels up to Záhony were above the previous LNV (maximum water level); the water flow also exceeded the maximum level. In Transcarpathia, embankments were breached and large areas were flooded.

### Keywords

Flood, Upper Tisza, Palád, Túr, Bereg bay, flood forecast, slope slip, embankment collapse, embankment decay, embankment rupture, evacuation, relocation, localization, temporary closure, water retraction, flood hydrograph reconstruction, flood inundation modelling, flood damages, reconstruction.

### ELŐZMÉNYEK

A 2001. március 3-át megelőző időszakban a Felső-Tisza és mellékfolyói vízgyűjtő területén az időjárás és vízjárás alakulásában tulajdonképpen nem voltak olyan figyelmeztető jelek, amelyek előre vetítették volna egy jelentősebb

árhullám kialakulását. Ellenkezőleg, a 2000. áprilisi árvíz követően az átlagosnál melegebb és szárazabb volt az időjárás. 2000. őszén az addigi legkisebb vizet (LKV) megközelítő vízszintek alakultak ki a folyókon, a Szamos vízállása Csenger-nél megdőntötte az addigi LKV értéket.



2000-2001 telén a hegyekben a sokéves átlag alatt volt a hó mennyisége.

2001. március első napjaiban – rövid idő alatt – mégis a Tisza kárpátaljai és hazai, Tiszabecs és Záhony közötti szakaszán, illetve a Túr alsó folyásán az addig észlelt legmagasabb vízállások alakultak ki. A Felső-Tisza vidékén az 1970. évi katasztrófális árvíz (*Szlávik 2020b*) után 31 évvel, 2001 márciusában ismét gátszakadásokat, óriási anyagi károkat okozó, súlyos következményekkel járó rendkívüli árvíz következett be.

Ismét bebizonyosodott, hogy a Felső-Tiszán a csapadéktevékenység és a külföldi vízmércéken észlelt tetőzések, valamint az árhullám országhatárra érkezése között rendkívül kevés idő telik el; az ideiglenes művek kiépítésének megszervezésére és végrehajtására mindössze néhány óra állt rendelkezésre. Ez alkalommal azonban a gyors intézkedések, a példa nélküli összefogás, a szakértelem és a védekezésben résztvevők ember feletti munkája sem tudta pótolni az árvízvédelmi művek hiányosságait és – az 1947. szilveszteri események (*Szlávik és Fejér 1998*) után 53 évvel – itt ismét árvíz-katasztrófa következett be.

### A FELSŐ-TISZA VÍZGYŰJTŐJE ÉS VÍZHÁLÓZATA

A Tisza Bodrog feletti, 35 870 km<sup>2</sup> területtel rendelkező vízgyűjtője négy ország (Ukrajna, Románia, Szlovákia, Magyarország) területén fekszik (*1. ábra*). Ezt a folyószakaszt nevezzük Felső-Tiszának. Ezen a vízgyűjtőn a hegy-, domb- és síkvidékek nagyjából azonos arányban találhatók. A Kárpátok vonulatai jórészt középhegység jellegűek. A folyó magyarországi szakaszára érkező árhullámok sajátosságait a négy országra kiterjedő vízgyűjtőn történtek határozzák meg.



1. ábra. A Felső-Tisza Tokaj feletti vízgyűjtőjének domborzati viszonyai (FETIVIZIG 2004)

Figure 1. Topographic conditions of the Upper Tisza river basin above Tokaj (FETIVIZIG 2004)

A Felső-Tisza vízgyűjtő területének lényeges sajátossága, hogy aszimmetrikus felépítésű. A folyó legfelső szakaszának jelentősebb mellékvei (Tarac, Talabor, Nagyág, Borsa) a jobb oldalról érkeznek és csak a Visó és az Iza az, amelyek részben baloldaliak, illetve egészen a felső szakaszon torkoltnak be. A Túr, a Szamos és a Kraszna ugyan bal oldalról érkeznek, együttesen nagyobb területről szállítják a vizet, mint maga a Tisza, de a folyót már a síkvidéki hazai területen érik el és az árvízi hidrológiai viszonyok alakításában a felső szakaszhoz viszonyítva általában kisebb szerepet játszanak. Ennek a sajátosságnak a mellékfolyók egymásra hatása, az árhullámok találkozása szempontjából van fontos jelentősége. A vízgyűjtő terület alakja a lefolyás szempontjából kedvezőtlen, aránylag rövid és szélesen terjeszkedő. A hegyoldalak meredek, a nagy esésű hegyi patakok rövid út lefutása után érik el a folyó völgyet, és az itt áradó vizek összetorlódnak. A domborzat jelentősen befolyásolja a terület vízkészletének eloszlását, a hóban tárolt vízkészleteket, a csapadék és a lefolyás mértékét.

### AZ ÁRHULLÁMOT MEGELŐZŐ ÉS KIVÁLTÓ HIDROMETEOROLÓGIAI HELYZET

Egy-egy árhullám keletkezését, kiváltó okait számos körülmény befolyásolja és ezek a tényezők és okok sokrétűek és összetettek. A csapadék szerepét vizsgálva nem elegendő csak a mennyiséget figyelembe venni, lényeges szerepe van a halmazállapotnak, az intenzitásnak, az időbeli és a területi eloszlás sajátosságainak is. Nagyon fontos kérdés, hogy milyen a vízgyűjtő felszíne a csapadékhullás, az árhullámot kiváltó csapadékmennyiség pillanatában, száraz-e vagy nedves, fagyott-e vagy éppen hó borítja, és ezeknek a körülményeknek milyen kombinációi fordulnak elő. Lényeges, hogy hogyan alakulnak a hőmérsékleti viszonyok, voltak-e megelőző árhullámok, milyen a mederteltség, és – a Tisza esetében ez különösen fontos – hogyan találkoznak az egyes mellékfolyókon fellépő árhullámok.

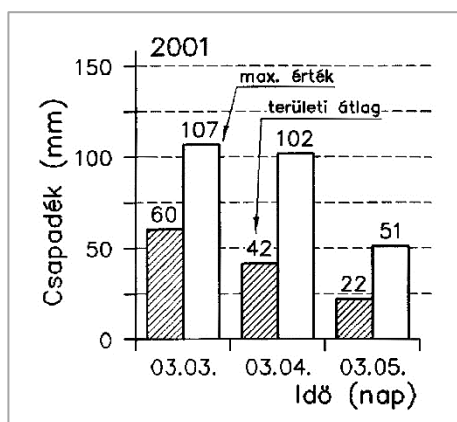
Csapadék szempontjából a 2000. év – az áprilisi árvíz ellenére – nem bővelkedett csapadéokban. A Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (FETIVIZIG) működési területén – éves területi átlagban – a csapadékösszeg mindössze 492 mm volt, a csapadékhiány 122 mm volt. Az őszi hónapokban alig esett. 2001 január-februárban a csapadék átlagos volt, az enyhe időjárás miatt csaknem kizárólag eső formájában hullott.

A 2000-2001. év tele hóban rendkívül szegény volt: a hóban tárolt vízkészlet értékei a Tisza vízgyűjtőjén, a szegedi szelvényig számolva, a hetenkénti felmérések szerint alig érték el a sokévi átlag ötödét-tizedét. Február közepén nemigen lehetett arra számítani, hogy egyáltalán a Tisza vízgyűjtőjén még jelentősebb hótakaró alakulhat ki. Február 21-28. között ugyan nagyobb havazás volt, de február 28-án a hóban tárolt vízkészlet még így is az arra az időpontra vonatkozó sokévi átlagnak (3,7 km<sup>3</sup>) alig több, mint a felét (2,1 km<sup>3</sup>) tette ki, tehát nem volt jelentős. Ezt a hőmennyiséget találta a vízgyűjtőn az az eső, amely március első napjaiban érkezett. Az 1999-es igen havas télen több, mint négyszeres, csaknem ötszörös volt a hőmennyiség (11 km<sup>3</sup>), s ez akkor egy nagy hóolvadási árhullámot eredményezett. A Felső-Tisza vízgyűjtő terü-

tén március 1-ig felhalmozódott hó mennyisége arányában nem különbözött az egész Tisza-vízgyűjtőre jellemző értékektől. Az 1000 m feletti magasságban átlagosan mintegy 40 cm-es hóvastagság és 70 mm hóvízkészlet volt jellemző.

A 2001. évi árhullámot megelőző időjárási folyamatok, majd a kárpátaljai és a magyar felső-tisza-völgyi árvízi katasztrófát okozó csapadéktevékenység – összehasonlítva a korábbiakkal – addig nem tapasztalt tulajdonságokat mutatott. Legtöbb árhullám előfordulása esetén jelentős a megelőző csapadéktevékenység, de 2001-ben nem ez volt a helyzet.

Március elején az alapszinoptikus helyzetet Közép- és Nyugat-Európa felett egy nyugat-keleti tengelyű ciklonális mező jellemezte (*Homokiné 2001*). Ebben a mezőben március 3-án és 4-én egy-egy ciklon vonult át a medence felett délnyugatról északkeleti irányban. A Felső-Tisza vízgyűjtőjén 2001. március 3-án kezdődő ciklontevékenység hatására igen jelentős csapadék hullott, és a hőmérséklet ebben az időszakban 10°C fölé emelkedett. A 0 fokos izoterma magassága (az olvadáspont) ekkor már 2000 m fölött volt. Az árhullámot kiváltó csapadék területi átlaga a Felső-Tisza vízgyűjtő területén március 3-5. között 124 mm volt; ilyen rövid idő alatt példátlan mennyiségű csapadék hullott (2. ábra). Az árhullám kialakulását befolyásoló csapadék három hullámban érkezett. Az intenzív esőzés március 3-án délelőtt kezdődött, az utolsó hullám március 5-én délután fejeződött be.



2. ábra. A 2001. évi árhullámot kiváltó csapadék jellemző értékei

Figure 2. Typical values of the precipitation that caused the 2001 flood wave

2001. március 3-5. között Kárpátalján, több helyen 200 mm-t meghaladó csapadékot mértek, a maximális értéket a Tarac-völgyében, Oroszmoqrán (296 mm) és Királymezőn (255 mm). Ezen a hegyvidéki tájon a március havi sokévi közepes csapadék mennyisége 70-90 mm, három nap alatt tehát 2-3 havi csapadék hullott itt le. Az árvizet közvetlenül tehát az váltotta ki, hogy a Felső-Tisza Tivadar feletti vízgyűjtő területén, a Kárpátokban még meglévő, átlagosan mintegy 70 mm hóvízkészletet tartalmazó hórétegre március 3-án területi átlagban 57 mm, majd 4-én és 5-én több hullámban további 75 mm csapadék hullott.

Külön is meg kell említeni a Túr árhullámát megelőző és kiváltó hidrometeorológiai helyzetet is, miután a Túron is kritikus árvízi helyzet következett be. Az árhullám kialakulását befolyásoló intenzív csapadékhullás ott is 3 hullámban érkezett, ugyancsak március 3-án délelőtt kezdődött és az utolsó hullám március 5-én délután fejeződött be. A csapadék – a vízgyűjtő magasabb régióiban a még meglévő hórétegre – döntően eső formájában hullott.

A vízgyűjtőterületekre rázúduló esőből, és az ebben az időszakban rendkívül gyors és erőteljes felmelegedés hatására keletkezett olvadékvízből származó vízmennyiség csak igen kis mértékben tározódhatott, hiszen a magasabban lévő hegyvidéki lejtők felszínén a talaj jórészt fagyott volt, illetve a tévége miatt a lombtalan erdők vízvisszatartása is jelentéktelen volt. Az igen intenzív felszíni lefolyás következtében a kárpátaljai folyók felső szakaszán már március 3-ról 4-re virradó éjszaka heves áradás kezdődött, mely rövidesen a hazai folyószakaszokat is elérte.

Az előzőekben bemutatott hidrometeorológiai helyzet, a rendkívüli csapadék, a hirtelen felmelegedés hatására bekövetkezett hóolvadás és a lefolyási viszonyok kedvezőtlen egybeesése vezetett a térségben minden eddig felmúló katasztrófális árhullám kialakulásához.

## AZ ÁRHULLÁM KIALAKULÁSA ÉS LEVONULÁSA

2001. március 1-3. között a Felső-Tiszán és mellékfolyóin a vízállások még mintegy 1,5-2,0 m-rel voltak a sokévi közepes márciusi vízszintek alatt; a vízhozamok helyenként még a sokévi márciusi átlag 1/3-át sem érték el. A folyókon sehol sem volt állójég. Az eső és az hóolvadásból származó lefolyás csak alig tározódhatott, mert a hegyvidéki lejtők felszíne jórészt fagyott volt, lejjebb pedig nagy volt a nedvességtartalma.

Intenzív felszíni lefolyás következett be és a hidrometeorológiai helyzet hatására a rendkívül heves áradás már március 3-ról 4-re virradó éjszaka megkezdődött a kárpátaljai folyók felső szakaszán. Összetett árhullám alakult ki, amit a hólé és a több hullámban érkezett csapadék, valamint a mellékágak különböző összegyülekezési ideje okozott.

1998-hoz képest (*Illés és társai 2003a*) minden egyes kárpátaljai mellékfolyón, illetve minden egyes vízmércén magasabb vízszintek alakultak ki (1. táblázat).

Az 1. táblázat adataiból jól látszik, hogy a Tiszán Técsőnél ugyanabban az időben, március 5-én 16 órakor következett be a vízállás-tetőzés, mint Rahónál, amely 78 km-rel feljebb van. (Korábbi árhullámoknál erre nemigen volt példa!) Ez a csapadék időbeni és területi eloszlásának és a vízhalózat morfológiájának következménye. A keletrebbre lévő Rahó feletti vízgyűjtőn (a Fekete- és a Fehér-Tiszán, a Visón és az Izán) későbbben következtek be a csapadék-maximumok, mint a Técső feletti, kisebb távolságra lévő mellékvölgyekben, különösen az egyébként is igen bővízű Taracon.

1. táblázat. Tetőző vízállások a Felső-Tiszán és mellékfolyóin 2001 márciusában  
Table 1. Peak water levels in the Upper Tisza and its tributaries in March 2001

Vízfolyás- szelvény	Tetőző vízállás (cm)	A tetőzés időpontja	LNV vízállása (cm) és éve	(2)-(4) (cm)	Árvízvédelmi készültségi szint (cm)		
					I.	II.	III.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Tisza Rahó	575	03.05. 16h	500 (1998)	+ 75	350	390	460
Tisza Técső	742	03.05. 16h	726 (1998)	+ 16	270	570	600
Tisza Huszt	528	03.05. 18-20h	428 (1998)	+100	215	280	310
Tisza Tiszabecs	736	03.06. 05h	708 (1998)	+ 28	300	400	500
Tisza Tivadar	1014	03.06. 13h	958 (1998)	+ 56	500	600	700
Tisza Vásárosna- mény	943	03.07. 10h	923 (1998)	+ 20	600	700	800
Tisza Záhony	758	03.09. 06h	757 (1888)	+ 1	500	600	700
Tisza Dombrád	818	03.09-10.	890 (1888)	- 72	600	700	800
Tisza Tiszabercel	826	03.10.	882 (2000)	- 56	600	700	800
Tisza Tokaj	847	03.12.	928 (2000)	- 81	600	700	800
Túr Kányaháza	453	03.05. 23h	461 (1993)	- 8	320	420	510
Túr Túrterebes	540	03.05. 23h	566 (1970)	- 26	360	420	540
Túr Garbolc	581	03.06. 12h	646 (1970)	- 65	300	400	450
Túr Tisztaberek	496	03.06. 10h	425 (1970)	+ 71	300	400	450
Túr Sonkád	629	03.06. 10h	596 (1970)	+ 33	300	400	450

A Técső és Tiszabecs közötti 143 km-t az árhullámcúcs 13 óra alatt tette meg, átlagosan 11 km/óra sebességgel. A lejjebb lévő folyószakaszokon a levonulási idő és sebesség a következőképpen alakult:

Tiszabecs-Tivadar között (39 km), 8 óra (4,9 km/óra),

Tivadar-Vásárosnamény között (21 km), 21 óra (1,0 km/óra).

A folyó Tiszabecsnél egyetlen nap alatt 3,6 m-t, a március 6-án bekövetkezett tetőzésig 8,5 m-t, Tivadarnál egyetlen nap alatt 4,7 m-t, a tetőzésig 12 m-t áradt. Az áradás intenzitása Tiszabecsnél március 4-én 4-6 óra között volt a legnagyobb: 79 cm (39,5 cm/óra). Tivadarnál (a későbbi szakadás helyén) még gyorsabb volt az áradás legnagyobb üteme, március 4-én 8-10 óra között 96 cm (48 cm/óra). Vásárosnaménynál az áradás legnagyobb intenzitása március 4-én 16-18 óra között 76 cm (38 cm/óra).

Az addigi LNV feletti vízállások alakultak ki a Tiszán Rahó és Záhony között, a jobboldali (kárpátaljai) mellékfolyókon, illetve a baloldali (romániai eredetű) mellékfolyók közül a Túr alsó szakaszán. Kárpátalján töltésszakadások következtek be, jelentős területek kerültek víz alá. Rahónál 75 cm-rel, Husztnál 100 cm-rel, a hazai folyószakaszon Tivadarnál 56 cm-rel következett be magasabb vízállás az addigi LNV-nél. A Tiszán a korábbi LNV-k (Záhonyt kivéve) az 1998. évi árhullám során alakultak ki.

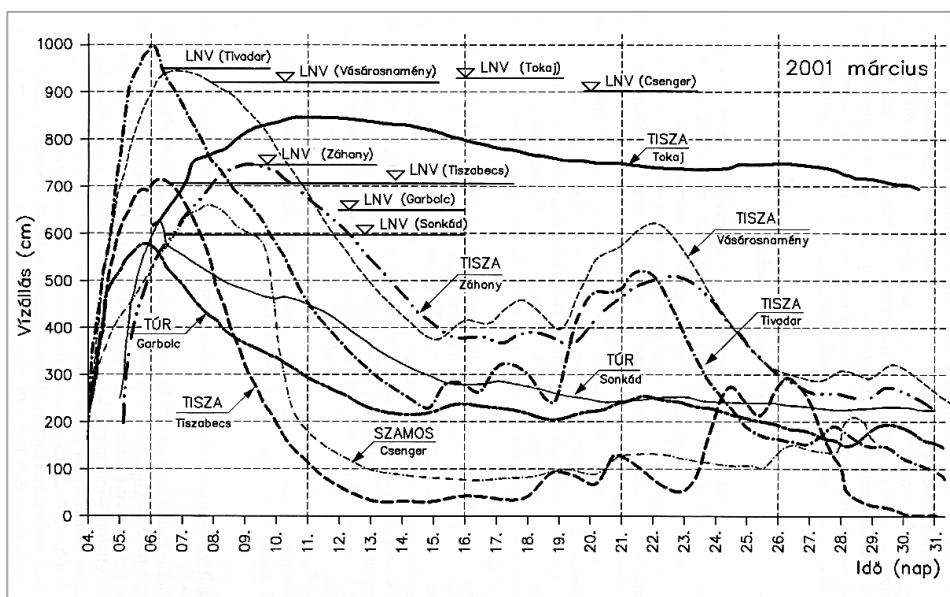
A Túron Túrterebesnél először március 5-én 4 órakor tetőzött az árhullám 513 cm-rel, majd március 5-én 24 órától 26-án 2 óráig 540 cm-rel következett be a folyó második tetőzése. Ez a vízállás 26 cm-rel maradt el az 1970. májusban észlelt 566 cm-es LNV-től. A Túr Garbolcnál

nem érte el az addigi legnagyobb vízszintet, viszont Sonkádnál meghaladta azt (1. táblázat és 3. ábra). A Túr alsó és középső szakaszán a nagyon magas vízállások kialakulásához hozzájárult a Tisza visszaduzzasztó hatása és a Tisza bal parti, tiszabökenyi gátszakadásából származó, március 6-án hajnaltól a Palád-patak bal parti töltésén, az ukrán oldalon átfolyó jelentős vízmennyiség. Ez a magyar szakaszon mintegy 10-20 cm-rel megnövelte a vízállást és így – a Paládon keresztül – érkező vízhozam mintegy 18-20 m<sup>3</sup>/s volt.

A Szamoson a korábbi (1970. évi) maximumhoz képest nem mondható jelentősnek az árhullám, viszont az 1998-ashoz képest lényegesen magasabb volt, és igen jelentős vízmennyiséggel töltötte fel a medret. Ez is szerepet játszott abban, hogy Vásárosnaménynál az LNV-t 18 cm-rel meghaladó vízszint volt és Záhonytól 1 cm-rel megdől a folyó 1888-ban észlelt, legrégebbi LNV értéke (1. táblázat és 3. ábra).

A Tisza Záhony alatti, a Bodrog torkolatig tartó szakaszán a víz az addigi legmagasabb szintet nem érte el, az alsó szakasz kiszélesedő hullámterének árhullám-csökkentő hatása volt, így Tiszabercelnél, majd Tokajnál az árhullámkép már számottevően ellapult. Tokajnál az árhullám elmaradt az előző évek nagy árhullámaitól, mivel a Bodrog által szállított vízmennyiség, valamint a Tisza és a Bodrog találkozási pontja nem úgy alakult, mint 1998-ban, 1999-ben és 2000-ben. A Tokaj alatti Tisza-szakasz hidrologiai helyzete szempontjából kulcskérdés a Bodrog és a Tisza találkozása. Hiába volt ugyanis eddigi maximális érték a záhonyi szelvényben vízállásban is, vízhozamban is, a Tisza középső és az alsó szakaszán nem alakultak ki maximumok, miután a Bodrog nem olyan módon találkozott a Tiszával, mint az előző három év árhullámainál (FETIVIZIG 2004, Illés és társai 2003, Konecsny 2003, Szlávik 2003).





3. ábra. Árhullámképek a Tisza, Túr és Szamos magyarországi szakaszán 2001 márciusában  
Figure 3. Flood wave images on the Hungarian section of the Tisza, Túr and Szamos Rivers in March 2001

### A vízhozamok alakulása

A korábbi árvizes időszakok gyakorlatának megfelelően a mértékadó szelvényekben az árhullám teljes menétét vízhozammérésekkel követték. A Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság működési területén, a folyókon 2001. március 5-18. között – országos szakmai összefogással – 55 árvízi vízhozammérésre került sor. (Ezt követően, március végéig még további 22 folyami vízhozammérés volt.) Ezen túlmenően – a töltésszakadásokon kiömlött víz levonulásának nyomon követése és vízkormányzási célból a Beregben magyar területen március 9-18. között 28 szelvényben összesen 208 vízhozammérést végeztek.

Ukrán területen – magyar mérőcsoportok – ugyancsak vízkormányzási céllal végeztek méréseket március 15-én, 8 szelvényben, 1-1 alkalommal. A Túron Romániában áradó, tetőző és apadó vízállásoknál 19 vízhozammérést végeztek. A Túr töltésszakadásán kiömlött víz levezetésének segítése érdekében magyar területen március 6-18. között 10 szelvényben összesen 41 vízhozammérésre került sor. Így a FETIVIZIG területén a 2001. márciusi árvíznél összesen 532 mérés történt (FETIVIZIG 2004, Szlávik és Szekeres 2003).

A Tiszán Tivadarnál ennél az árhullámnál gyakorlatilag megmérték a tetőző vízhozamot, ami minden addiginál nagyobb érték, 4190 m<sup>3</sup>/s volt. Ez minden idők legnagyobb mért vízhozama volt nem csak a Felső-Tiszán, hanem az egész Tisza-vízrendszerben. Ezt a rekordnak számító mérést a Közép-Duna-völgyi VIZIG mérőcsoportja végezte. Ennél a mérésnél a maximális vízmélység 17,7 m, a maximális sebesség 3,29 m/s volt.

A korábban mért legnagyobb vízhozam Tivadarnál 1998. november 6-án 3 550 m<sup>3</sup>/s, a számított legnagyobb tetőző vízhozam pedig 1998-ban 3 590 m<sup>3</sup>/s volt. Vásárosnaménynál ugyancsak megmérték a tetőző vízhozamot, ami minden addiginál nagyobb érték, 3 700 m<sup>3</sup>/s volt (2. táblázat) (a korábban mért legnagyobb vízhozam 1998. november 7-én 3450 m<sup>3</sup>/s, a számított legnagyobb tetőző vízhozam pedig 1998-ban 3 620 m<sup>3</sup>/s volt). A 2001. évi márciusi árhullámnál alakult ki a Tisza minden addiginél nagyobb maximális fajlagos lefolyása: Tivadarnál 322 l/s/km<sup>2</sup> (1998-ban 285 l/s/km<sup>2</sup>), Vásárosnaménynál pedig 127 l/s/km<sup>2</sup> (1998-ban 124 l/s/km<sup>2</sup>).

2. táblázat. Az 1970., 1998. és 2001. évi árhullámok tetőző vízállásainak összehasonlítása (cm)  
Table 2. Comparison of the peak water levels of the 1970, 1998 and 2001 floods (cm)

Folyó	Vízmérce	1970	1998	$\Delta H =$ 1998– 1970	2001	$\Delta H =$ 2001– 1998	$\Delta H =$ 2001– 1970
Tisza	Rahó	482	500	+18	<b>575</b>	+75	+93
Visó	Visóbeszterce	<b>544</b>	305	-239	403	+98	-141
Iza	Farkasrév	<b>612</b>	404	-208	496	+92	-116
Tisza	Máramarossziget	<b>485</b>	420	-65	<b>485</b>	+65	0
Tisza	Técső	648	726	+78	<b>742</b>	+16	+94
Nagyág	Huszt	539	<b>620</b>	+81	590	-30	+51
Tisza	Huszt	-	428	-	<b>537</b>	+109	-
Tisza	Tiszabecs	680	708	+28	<b>719</b>	+11	+38
Borza	Dolha	369	<b>536</b>	+167	442	-94	+73
Túr	Túrterebes	<b>636</b>	480	-156	540	+60	-96
Tisza	Tivadár	865	958	+93	<b>1014</b>	+56	+149
Szamos	Csenger	<b>902</b>	347	-555	668	+321	-234
Tisza	Vásárosnamény	912	923	+11	<b>941</b>	+18	+29
Tisza	Záhony	728	737	+9	<b>752</b>	+15	+24
Bodrog	Bodrogszerdahely	694	866	+172	832	-34	+138
Tisza	Tokaj	858	872	+14	847	-25	-11

**941** – LNV érték

A Túron a tetőző vízhozamok a következők voltak: Kányaházánál  $106 \text{ m}^3/\text{s}$ , Túrterebesnél  $223 \text{ m}^3/\text{s}$ , Garbolcnál  $201 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A Túr romániai felső szakaszán 1972-1974. között építették meg a kányaházi völgyzárógátat és tározót. A víztározó maximális térfogata  $23 \text{ millió m}^3$ , ennek egy részét árvízcsúcs-csökkentésre tartalékolják. A fenékűrtön, a zsilipeken és az árapasztó bukón a terv szerint, elméletileg  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  vízhozamot lehet egyidejűleg levezetni. Március 3-6. között a tározóban visszatartott vízmennyiség  $13,2 \text{ millió m}^3$  volt. A tározó árvízcsúcs-csökkentő hatását mutatja, hogy a víztározóba befolyt maximális vízhozam március 5-én 16 órakor elérte a  $229 \text{ m}^3/\text{s}$ -ot, a leeresztett maximális vízhozam viszont csak  $106 \text{ m}^3/\text{s}$  volt. A rendkívül jó, 54%-os árvízcsökkentő hatásnak köszönhetően az országhatár térségében 60-80 cm-es volt a vízszint csökkenése. E hatás nélkül a Túr garbolci vízmércéjének szelvényében nagy valószínűséggel az 1970. évi LNV ( $646 \text{ cm}$ ) körüli tetőző vízállás alakult volna ki.

#### A gátszakadásokon kiömlött vízmennyiségek és hatásuk az árhullámképekre

Az árvíz hazai észlelt vízállásait befolyásolták a kárpátjai – és kisebb mértékben a romániai – folyószakaszokon bekövetkezett töltésmeghágások, átfolyások, gátszakadások. Ezekről a továbbiakban még szólunk, e helyütt csak a kiömlött vízmennyiségek meghatározására és az árhullámképekre gyakorolt hatásukra térünk ki.

Legjelentősebb hatással a magyar országhatár alatti szakasz vízállásaira elsősorban a Tiszabökenynél március 5-én 15 órakor, valamint a Királyházánál március 5-én 17:15-kor bekövetkezett töltésmeghágások és -szakadások voltak. A tiszabökenyi szakadásnál – a Kárpátaljai Vízügyi Igazgatóság adatai szerint –  $150 \text{ millió m}^3$  víztömeg árszította el a Tisza bal parti térségét. A töltésszakadások egyéb adatai részleteiben nem ismertek, de a víztömeget minden bizonnyal felülbecsülték.

Tiszabecstől lejjebb a jobbparton, Mezővári-Csetfalva térségében március 5-én 15 órakor 8 helyen volt töltésmeghágás. Ezekon kívül, feljebb, a jobbparton, Huszt, Técső, Bustyaháza, Jablonka, Kistecső, Pálosremete térségében, illetve a Tarac, Talabor, Nagyg, Borzsa völgyekben is számottevő vízmennyiség hagyta el a folyómedreket és terült szét a völgyekben. Tiszabecsnél mindezek valószínűleg mintegy 30-50 cm-rel csökkentették a tetőző vízállás szintjét, tehát e vízmennyiségek hiányában feltételezhetően akár 760-790 cm-es tetőző vízállás is kialakulhatott volna.

A Tiszabökenynél történt tiszai gátszakadásból származó vízmennyiség egy része a Palád-patakba folyt, onnan pedig a mederben, illetve a Palád töltését meghágva, a terepen a Túrba folyt, amelynek hatására a Túr középső szakaszán is LNV fölötti vízállások alakultak ki. A Palád-patak bal parti töltésén március 6-án hajnaltól átfolyó víz több mint 1 200 m hosszban hágtá meg a töltést, az átfolyt

vízmennyiség  $10 \text{ millió m}^3$ , az előtött terület nagysága  $3 500 \text{ hektár}$  volt. A természetes terepmélyedésekben, patakmedrekben, csatornákon történő lefolyás és szivattyúzás hatására március 10-ig a víz visszavonult.

A hazai területeken történt töltésszakadások, töltés meghágások helyét a 4. ábra szemlélteti.



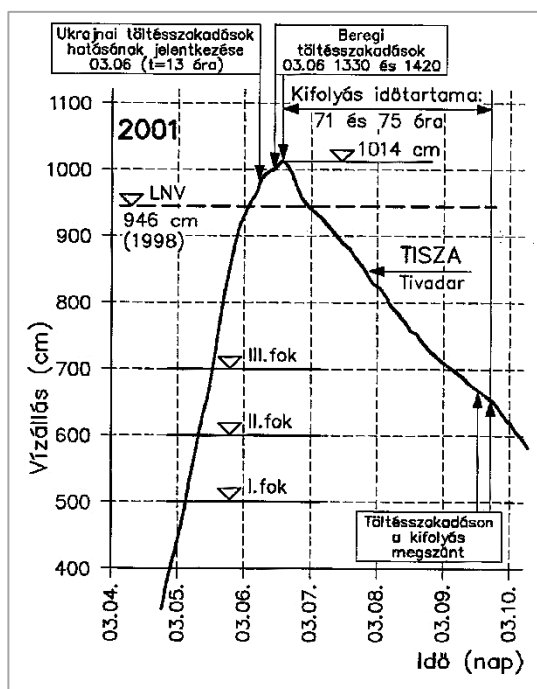
4. ábra. Töltésmeghágások, gátszakadások térképvázlata a 2001. márciusi árhullámnál

Figure 4. Map outline of flood protection levee exceedance, levee breaches at the March 2001 flood wave

A minden addiginál nagyobb vízmagasság és vízhozam, illetve az árvízvédelmi töltések magassági és szélességi hiánya következtében a Tisza Tarpa és Tivadar közötti jobb parti töltésén március 6-án 13:30-kor és 14:30-kor, a vízállástetőzéssel kb. egyidőben gátszakadások következtek be. A keletkezett két nyíláson a Tisza hullámtéréről, medréből hatalmas mennyiségű víz (mintegy  $120-140 \text{ millió m}^3$ , maximálisan  $800-900 \text{ m}^3/\text{s}$  vízhozam) folyt ki a beregi öblözetbe. Ez a vízhozam-hiány nem jelentkezett árvízcsökkentő tényezőként a tivadari tetőző vízállásnál, mert a töltésszakadás pillanatában a folyó ott már éppen tetőzött. Az árhullámkép apadó ágán viszont megfigyelhető volt a víztömeg-hiány, ami az apadás ütemét befolyásolta. Ezzel is magyarázható az árhullám viszonylag gyors ellapulása Záhony alatt.

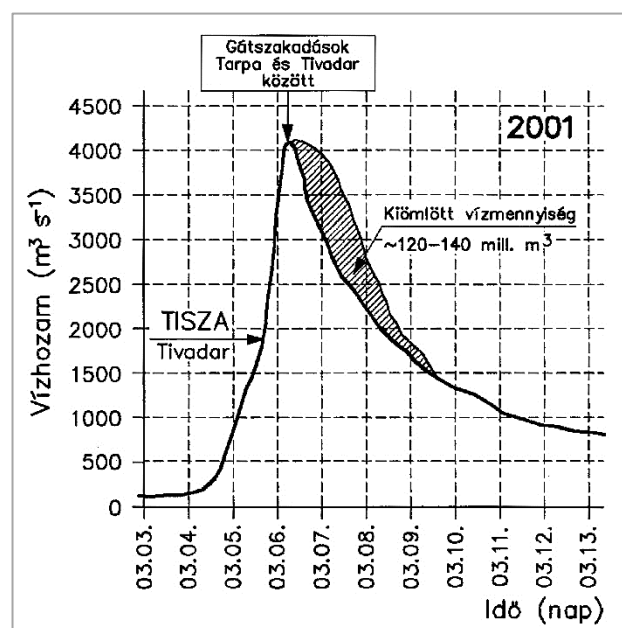
A tivadari árhullámképen (5. ábra) a kárpátjai és a beregi töltésszakadások hatása egyaránt kimutatható, de a teljes árhullámkép alakulása szempontjából ezek nem voltak meghatározóak. A kárpátjai szakadások után 13 órával egy kis törés mutatja azok hatását. A hazai két töltésszakadás gyakorlatilag a tivadari tetőzés időpontjában következett be, a kialakult tetőző vízszintet már nem befolyásolta és a kifolyt vízmennyiség már csak az apadó ág alakulására hatott, lecsökkentette az apadás ütemét. (6. ábra).

A Tisza beregi töltésszakadások alatti szakaszán az alsó folyószakaszok árhullámképének alakítása szempontjából nem volt meghatározó jelentősége a nagyon súlyos következményekkel járó eseményeknek, a kifolyt vízmennyiségnek. Hidrológiai és hidraulikai alapon becsültük, hogy a töltésszakadások hatására a vízszintcsökkenés mintegy 20 cm lehetett Vásárosnaményban, és 10-15 cm Záhonyban.



5. ábra. Az ukrainai és a beregi töltésszakadások hatása a Tisza tivadari árhullámképére

Figure 5. The effect of the levee breaches in Ukraine and Bereg on the Tivadar flood wave in the Tisza



6. ábra. Tisza-Tivadar, rekonstruált árhullámkép, 2001. március

Figure 6. Tisza at Tivadar, reconstructed flood wave, March 2001

### Előrejelzések

Az előrejelzések szerepe, jelentősége rendkívül nagy az olyan heves vízjárású folyószakaszokon, mint amilyen a Felső-Tisza is. Ilyen folyókon az előrejelzés időelőnye kicsi. A rendelkezésre álló információkból helyesen kell felismerni és értékelni a megindult hidrológiai folyamatokat. A védelmi szervezet riasztása, mozgósítása, a védekezési munkák tervezése és szervezése az előrejelzésekre épül, ezért az ezeket készítő hidrológusok felelősége óriási. 2001 márciusában ez a felelőség fokozottan jelentkezett, miután olyan vízszintekre és vízhozamokra,

olyan heveségű áradásra kellett számítani, amilyen korábban soha nem fordult elő.

A 2001. évi árvíz során ezért rendkívüli fontossága volt azoknak az információknak, melyeket a 2000-ben részletesen elkészült közös magyar-ukrán távmérő rendszer szolgáltatott. Az adatok döntő többségét azonban, akkor még a hagyományos módszerrel kellett mérni és összegyűjteni. A földi állomáshálózatot egészítette ki a Nyíregyháza-napközi meteorológiai radar, a Meteosat műhold-vevő, valamint az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) speciális mennyiségi csapadékelőrejelzései.

Március 1-11. között a területileg érintett 3 vízügyi igazgatóság és a VITUKI Országos Vízjelző Szolgálat (OVSZ) a Tisza Tokajig terjedő hazai szakaszára 29 alkalommal adott ki árvíz előrejelzést. A 7. ábrán példaként bemutatjuk a Tisza tiszabecsi szelvényére 2001. márciusában kiadott riasztásokat és előrejelzéseket.

Az előrejelzések megbízhatóan szolgálták és megalapozták a védekezési munkákat irányítók döntéseit. Az is egyértelműen beigazolódtott, hogy tovább kell fejleszteni a Felső-Tisza hidrometeorológiai monitoring rendszerét a hazai és a külföldi vízgyűjtőkön, szükséges az előrejelzések kidolgozási rendjének felülvizsgálata, az előrejelzési modellek metodikai fejlesztése, a közreadás egységesítése (FETIVIZIG 2004, Konecsny 2001).

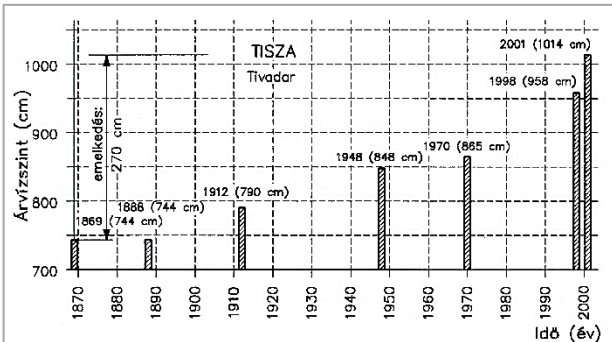
### A 2001. MÁRCIUSI FELSŐ-TISZAI ÁRHULLÁM HIDROLÓGIAI ÉRTÉKELÉSE

A Felső-Tiszán az elmúlt évtizedekben, a 2001. márciusot megelőzően, 1947/48. fordulóján (Szlávik és Fejér 1998), 1970 májusában (Lászlóffy és Szilágyi 1971, Lászlóffy 1972, Szlávik 2020a, 2020b), 1993 decemberében (Illés és Konecsny 1995), 1995 decemberében (Illés és Konecsny 1996) és 1998 novemberében (Illés L. és Konecsny K. 2001, Illés és társai 2003), 1999-ben és 2000-ben voltak jelentős árvizek.

A 2. táblázat az 1970., 1998. és 2001. évi árhullámok tetőző vízállásait hasonlítja össze a Felső-Tiszára és mellékfolyóira. Az adatokból kitűnik, hogy helyenként rendkívüli mértékű vízszint-növekedések is előfordultak. Így pl. az 1998-as árhullám meghaladta az 1970. évi a Borsán 167 cm-rel, vagy a Bodrogon 172 cm-rel. A 2001. évi árhullám tetőző vízszintjei több helyen lényegesen meghaladták az 1998. évi és tulajdonképpen az LNV-t is. Látható, hogy a Visón, Izán, Túron és Szamoson, bár a tetőzések nem érték el az eddigi legnagyobb értékeket, de lényegesen meghaladták az 1998 novemberi árvíz idején észlelteteket és igazolják, hogy a Felső-Tisza bal oldali mellékfolyói lényegesen hozzájárultak a 2001. évi extrém helyzet kialakulásához.

Tivadarnál a vízszintemelkedés tendenciája 1880-tól 2001-ig jogosan nevezhető rendkívülinek (7. ábra). Ugyanakkor ez nem egyedülálló, mert ha megnézzük a többi tiszai mellékfolyót és tiszai szelvényeket, akkor hasonló tendenciával találkozunk (Szlávik 2014). Ez egy olyan körülmény, egy olyan sajátosság, amellyel az árvízvédelmi fejlesztések szempontjából mindenképpen számolni kell.





7. ábra. A vízállások emelkedő tendenciája a Tiszán, Tivadarnál  
Figure 7. The rising trend of water levels on the Tisza at Tivadár

A jövőre nézve feltétlenül figyelembe kell venni, hogy amennyiben hasonló méretű árvíznél nem következnek be a 2001. márciusihoz hasonló kárpátaljai töltésszakadások és a Tiszán, a Técsői- és a Huszti-medence térségében teljes és hatékony védvonalat építenek ki, a magyarországi folyószakaszokon több deciméterrel, akár fél métert meghaladóan is nőhet az árvízszint.

A Felső-Tisza éghajlati és vízjárásai adottságai közé tartozik, hogy az év folyamán bármikor számíthatunk jelentős árhullámokra. A hótakaró gyors olvadására a téli félévben szinte bármikor lehet példát találni, mégsem túl gyakori, hogy éppen március elején jelentkezzen együttesen a

szélsőséges esőzés és hóolvadás. Máskor az átlagosnál jóval nagyobb hókészletek is fokozatosan olvadnak el és a folyók viszonylag csendesesen vezetnek le az olvadék vizet.

A 2001. évi árhullám értékelésére összehasonlítottuk az 1947-48. évi (*Szlávik és Fejér 1998*) és a 2001. évi árhullámokat, miután rendkívül hasonló volt a két árhullám, úgy a kiváltó okokat, mint a lefolyását és a következményeket illetően (3. táblázat).

A kiváltó okokat illetően, a talaj felső rétege mindkét esetben fagyott volt. 1947. utolsó napjaiban a vízgyűjtőn rendkívüli hőmennyiség volt. 2001-ben volt hótakaró, ha nem is jelentős, de annyi éppen, hogy gyakorlatilag 12 óra alatt el tudott olvadni a felmelegedés és a csapadék hatására és az így képződő mintegy 70 mm-nyi lefolyás nyomában többletet jelentett és hozzáadódott a rendkívüli mennyiségű és intenzitású, egyenletes területi eloszlású csapadékhoz. 1947-48-ban gyors felmelegedés volt megfigyelhető, most is ezt tapasztaltuk. 53 évvel ezelőtt – bár heves esők voltak –, de nem volt annyi csapadék, mint 2001-ben.

A 2001. márciusi árhullám az 53 évvel korábbinál jóval magasabb szinten, sokkal hevesebben folyt le. A tetőző vízhozam számított értéke Tiszabecsnél 1947 szeptemberén 4 000 m<sup>3</sup>/s volt, most pedig Tivadarnál 4 190 m<sup>3</sup>/s-ot mértek. Tiszabecsnél nyilván ez valamennyivel több lett volna, s ehhez még az ukrainai töltésszakadások vízhozam-csökkentő hatása is figyelembe veendő. A szakadások száma és méretének alakulása mutatja, hogy most nem egy hónapig, hanem 71 illetve 75 órán keresztül volt nyitva a töltés. Ez rendkívüli teljesítmény volt a szakadás elzárását végzők részéről. A magasabb vízszintek miatt – a kisebb kifolyási időtartam ellenére – 2001-ben jóval több vízmennyiség folyt ki és ezért az előntés nagyobb területet érintett.

3. táblázat. Az 1947/48. évi és a 2001. évi árhullámok összehasonlítása  
Table 3. Comparison of the 1947/48 and 2001 flood waves

	1947/48	2001
Tetőző vízállások	Tiszabecs – 600 cm Tivadár – 848 cm	Tiszabecs – 719 cm Tivadár – 1014 cm
Az áradás intenzitása	Tiszabecsnél napi 3 m	Tiszabecsnél napi 3,6 m (max. 25 cm/h), Tivadarnál napi 4,7 m (max. 33 cm/h)
Tetőző vízhozamok	Tiszabecsnél gátszakadások nélküli számított 650 cm-es vízállásnál $Q_{max}=4\ 000\ m^3/s$	Tivadarnál a mért tetőző vízhozam 4 190 m <sup>3</sup> /s
Szakadások száma, mérete, a nyitott töltések időtartama	3 töltésszakadás, 20, 30 és 100 m hossz, a két kisebbet elzárták; A töltés nyitva: kb. egy hónapon át, két további árhullám is kifolyt	2 töltésszakadás, 110 és 145 m hossz; A töltés nyitva: 71, illetve 75 órán át
Kiömlött vízmennyiség	78 millió m <sup>3</sup>	120-140 millió m <sup>3</sup>
Elöntött terület	178 km <sup>2</sup>	260 km <sup>2</sup>
A kiváltó okok összefoglalása	Fagyott talaj, rendkívüli hőmennyiség, gyors felmelegedés, heves esők, a védműrendszer kiépítetlensége	Fagyott talaj, hótakaró, gyors felmelegedés, rendkívüli csapadék-mennyiség, a védműrendszer kiépítetlensége

## FELKÉSZÜLÉS AZ ÁRVÍZVÉDEKEZÉSRE

Az 1993-as és 1995-ös árvízvédekezések tapasztalatai alapján 1996-97-ben elkészült a *Felső-Tisza-vidék árvízvédelmi rendszerének fejlesztése* c. tanulmány (*FETIVIZIG 1997*), amely meghatározta a fejlesztési igényeket, azok költségvetését, sorrendiségét. A program megvalósítása 1997. második felében kezdődött el. Az 1998. évi árvíz tapasztalatai szükségessé tették a tanulmánynak a fejlesztések ütemezésére vonatkozó felülvizsgálatát, amely 1999. februárjára készült el. A legsürgősebbnek bizonyult feladatok nagy számát jól jellemzi, hogy a FETIVIZIG területén a halmozottan veszélyes

szakaszok száma 111 db, összes hossza pedig 134,2 km volt. Ebből a Vásárosnamény feletti Tisza-szakaszon 34 db halmozottan veszélyes szakasz volt 46,8 km összes hosszal.

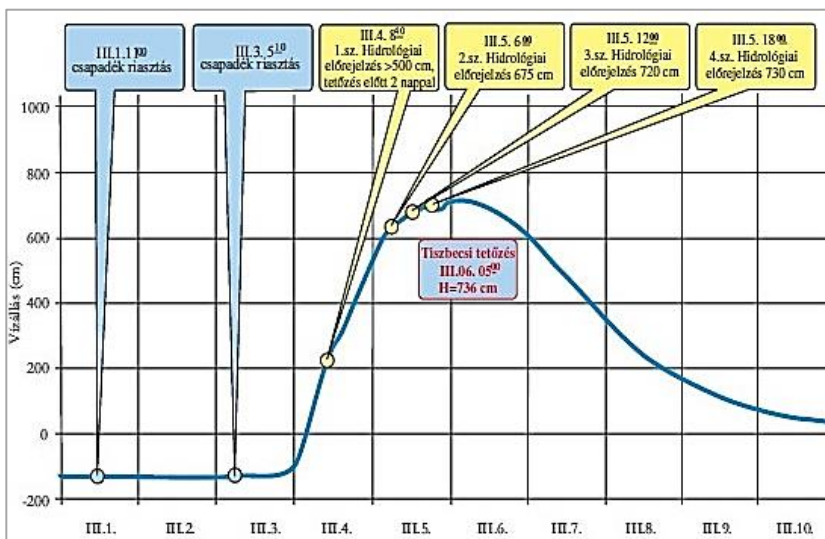
A 2001. évi árvízre való felkészülés tulajdonképpen már azzal megkezdődött, hogy az 1998. évi árvíz után a töltések fejlesztése a korábbi évekenél gyorsabb ütemben folytatódott. Kedvezőnek bizonyult, hogy az előző években a töltésfejlesztések a leggyengébbeknek minősített szakaszokon már elkészültek, mert – ennek hiányában – ezeken a helyeken lett volna olyan fejlesztetlen szakasz is, ahol a korábbi töltéskorona fölött több mint 1 m-rel lett volna a tetőző víz szintje.

1999-ben magyar kormánysegélyből ukrán területen kiépültek az árvízi hírközlés és távjelzés alaplétesítményei, amelyek a korábbihoz képest gyorsabb, megbízhatóbb információáramlást tettek lehetővé.

2000 őszen a védműfelülvizsgálatok rendben lezajlottak. A FETIVIZIG védelmi szervezete a vízkárelhárítási szabályzat szerint került felállításra.

### A védekezési munkák megszervezése és megindítása

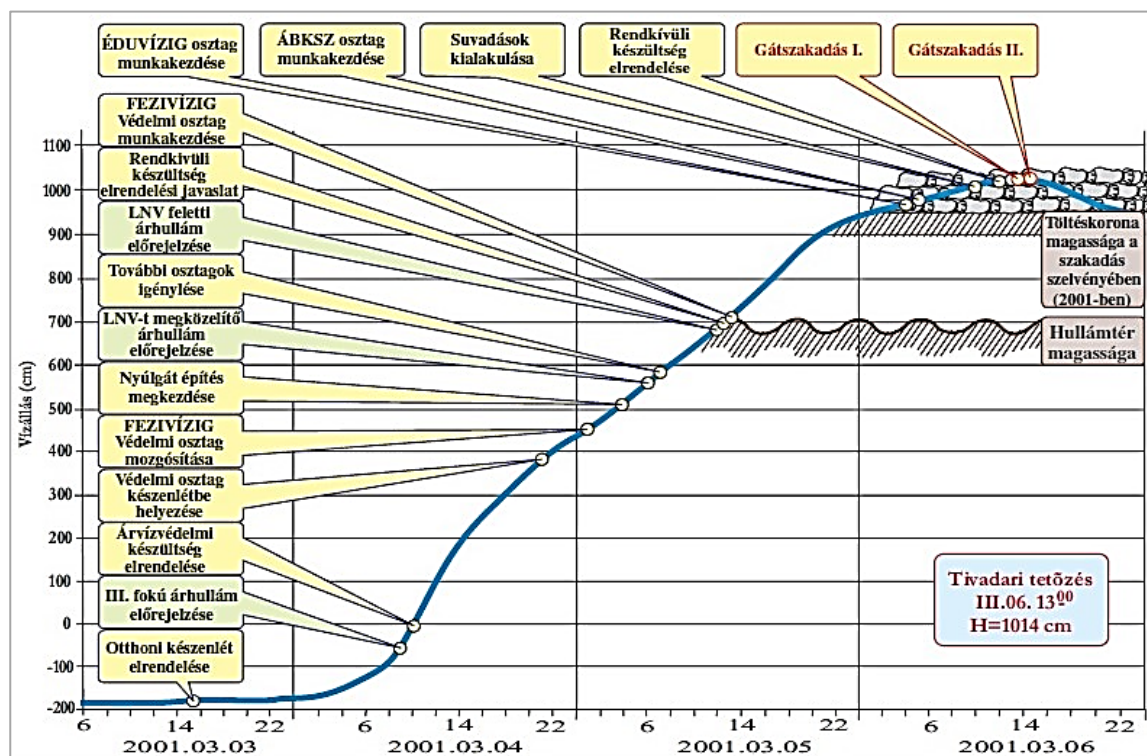
Az OMSZ 2001. március 1-én kiadott csapadék riasztására alapozva (8. ábra), amelyből valószínűsíthető volt, hogy a vízszintek a Felső-Tiszán elérhetik az I. fokú készütségi szintjét, a FETIVIZIG védelmi szervezetébe beosztottaknak az igazgatóság vezetése március 3-án otthoni készenléletet rendelt el (9. ábra).



8. ábra. Riasztások és előrejelzések a Tisza tiszabeci szelvényére 2001 márciusában (FETIVIZIG 2004)  
Figure 8. Alerts and forecasts for the Tiszabecs section of the Tisza River in March 2001 (FETIVIZIG 2004)

Tekintettel a rendelkezésre álló minimális, egy-másfél napos időelőnyre, március 4-én 10 órakor, a III. fokú árhullámra vonatkozó előrejelzések ismeretében, 170 cm-es tiszabecsi vízállásnál (még jóval a I. fokú készütségi szintnek megfelelő 300 cm-es vízállás alatt) elrendelték az I. fokú árvízvédelmi készütséget az érin-

tett védvonalakra, árvízvédelmi szakaszokra. A szakaszvédelem-vezetők és a beosztott műszakiak azonnal kivonultak a védvonalakra és megkezdték a felkészülést egy III. fokú készütségi szintet meghaladó árhullám kivédésére. A külföldi információk és adatok gyűjtése, értékelése közben folyamatos volt.



9. ábra. Védelmi intézkedések a tivadari árhullámképhez viszonyítva (2001.03.03.06:00 – 03.06.13:00) (FETIVIZIG 2004)  
Figure 9. Protection measures in relation to the flood wave in Tivadar (03.03.2001.06:00 - 03.06.13:00) (FETIVIZIG 2004)

Március 4-én 22 órakor, az újabb előrejelzések jelentős vízszintemelkedést jeleztek, ezért a FETIVIZIG védelem-vezetése elrendelte a védelmi szervezetbe beosztott teljes személyi állomány azonnali mozgósítást és segítséget kért más vízügyi igazgatóságoktól is. Március 5-én éjjel 2 órakor nagy védekező erők indultak az ország egész területéről a különösen veszélyesnek minősített 210 km hosszú felső-tiszai töltés-szakaszokra.

Tiszabecsnél a III. fokú készültséget március 5-én 0 órakor rendelték el (9. ábra). A szakaszvédelem-vezetők a Tiszabecstre és Vásárosnaményra előrejelzett vízszintek kivédéséhez szükséges feladatok elvégzéséhez megadták a szükséges létszám-, anyag- és eszközigényüket és meg is kezdték a tényleges védelmi beavatkozásokat.

A március 5-én 6 órakor kiadott előrejelzés már az addigi legnagyobb vízszintet megközelítő szintű árhullámot valószínűsített (8. ábra).

A FETIVIZIG védelemvezetése az Országos Műszaki Irányító Törzstől (OMIT) műszakiakat, védelmi osztagokat, szakcsoportokat kért kirendelni, s megtörtént a gátfeltáró és lokalizációs szakcsoport mozgósítása is (Bodnár 2003).

A Megyei Védelmi Bizottság március 5-én 9 órakor tartotta első ülését, és március 5-én 16 órától elrendelte az ügyeleti szolgálatot, a fehérgyarmati és vásárosnaményi helyi védelmi bizottságok működésének megkezdését. A polgármestereket utasította a mozgósítási és kitelepítési tervek egyeztetésére, pontosítására, elrendelte a védekezéshez szükséges közérő biztosítását, a Polgári Védelem 9 árvízvédelmi komplex csoportjának készenlétbe helyezését, a szállítóeszközök, a határátlépés, a védelmi osztagok felvonulásának biztosítását, a Honvédség megkeresését.

A március 5-én a délelőtti órákban ismertté vált újabb kárpátaljai csapadék adatok és a külföldi vízállások alapján a FETIVIZIG hidrológusai által 12 órakor kiadott előrejelzés szerint (8. ábra) bizonyossá vált, hogy a Tiszán Záhony felett mindenütt az addigi LNV feletti vízállásokkal kell számolni (pl. Tiszabecsnél  $720 \pm 15$  cm-es, Tivadarnál  $980 \pm 20$  cm-es értékekkel). Ezek alapján a FETIVIZIG – a Megyei Védelmi Bizottság elnökének egyidejű tájékoztatása mellett – kezdeményezte az OMIT-nál rendkívüli készültség elrendelését a Tisza Tiszabecs-Záhony közötti szakaszára, valamint a Szamos és a Kraszna torkolati szakaszának védvonalaira.

Az előrejelzés ismeretében az OMIT elrendelte az általános készültséget a teljes vízügyi szolgálatban, összehívta a tárcaösszekötőket és javaslatot tett a Kormánynak a veszélyhelyzet kihirdetésére és az annak során teendő intézkedésekre. A Katasztrófa törvény alapján létrejött Árvízvédelmi és Belvízvédelmi Munkabizottság március 5-én, 15 órára összehívott tárcaösszekötői értekezletén már döntés is született a rendkívüli készültség szerinti működés megkezdéséről, így honvédségi erők azonnali igénybevételének kezdeményezéséről (Váradi és társai 2003).

A Kormány a polgári védelemről szóló 1996. évi XXXVII. törvény szerinti árvízvédekezési veszélyhelyzet létrejöttét Szabolcs-Szatmár-Bereg megyére 2001. március 6-án 12 órától megállapította, és elrendelte a rendkívüli készültséget a Tisza Tiszabecs-Záhony közötti szakaszára, a Tisza visszaduzzasztása által érintett Szamos, Kraszna folyók torkolati szakaszaira, valamint később visszamenőlegesen a Túr folyóra. A rendkívüli készültség összesen 280,55 km hosszú töltésszakaszt érintett.

A honvédelemről szóló 1993. évi CX. törvény alapján a Kormány elrendelte az ilyen esetekben szükséges rendelkezések bevezetését. A Kormány döntése kimondta, hogy a veszélyhelyzet elhárításába – a katasztrófák elleni védekezés irányításáról, szervezéséről és a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről szóló 1999. évi LXIX. törvény alapján – a Magyar Honvédség, a Határőrség és a rendvédelmi szervek bevonhatók. A Kormány rendeletét – a Magyar Közlönyben történő közzétételén kívül – miután halasztást nem tűrő eset állt fenn, a közszolgálati műsorszórók útján is kihirdette. A rendkívüli árvízvédelmi készültséget a Kormány 2001. március 21-én 12 órakor szüntette meg.

Március 5-én az OMIT folyamatosan újabb intézkedések történtek a megfelelő létszámú műszaki irányítói állomány, a védekezéshez szükséges létszám (PV komplex brigádok, közérő, honvédség, határőrség stb.) igénybevételére, a védekezéshez szükséges anyagok (zsák, fáklya, terfil, homok, kő stb.) biztosítására, az újabb védelmi osztagok kivezénylésére (Váradi és társai. 2003, Horkai és Szilávik 2003).

Március 5-én hajnaltól kezdve a Tisza Tiszabecs-Vásárosnamény közötti szakaszán, ahol a töltések kiépítése a leggyengébb, a magassági hiányok a legnagyobbak voltak és ahol a várható és később bekövetkezett vízszintek legnagyobb mértékben meghaladták az addigi LNV-t és a mértékadó vízszintet is, rendkívüli intenzitású és nagy erőfeszítést követelő védekezési munkák folytak. A védekezés első erőfeszítése a magassági hiányok megszüntetésére irányult. A nyúlgátak építési ütemének több mint 30 km hosszúságú lépést tartania a vízszint emelkedésével és megakadályozni azt, hogy a víz a töltésen, illetve a 40-50 cm magas nyúlgátakon átömöljön (1. kép). Jelentős hosszúság volt szükség a mentett oldali rézsú bordás megtámasztására is (Bodnár 2003).



1. kép. Vízet tartó nyúlgát a Felső-Tiszán, Tivadar térségében (2001. március 6.) (Fotó: Magyar György)  
Picture 1. Emergency dike holding high water in the Tivadar area of the Upper Tisza (6<sup>th</sup> March 2001) (Photo: György Magyar)



A 36 km összes hosszúságú előírt méretű kiépített töltésszakaszok a terhelést jól bírták, érdemi árvízi jelenséget nem mutattak, csak ott voltak problémák, ahol a gyeptakaró még nem erősödött meg és nagy volt a víz sodrása. A tivadari híd fölött, Kisar térségében azonban helyenként az árvíz szintje így is színelt a töltéskoronával.

A minden eddiginél nagyobb vízmagasság és vízhozam következtében a töltésekre óriási nyomás nehezedett.

4. táblázat. A védekezés megszervezéséhez rendelkezésre álló idő  
Table 4. Time available to organize the defense

Esemény	Eltelt idő a bekövetkezésig (óra)	
	Tiszabecs tetőzés	Tarpa gátszakadás
Az árhullámot kiváltó csapadék kezdete	66	74
Az árhullámot kiváltó csapadék vége	16	24
A rahói vízmérce tetőzése	13	21
III. fokú árhullám előrejelzése	44	52
LNV-t megközelítő árhullám előrejelzése	23	31
LNV-t feletti árhullám előrejelzése	17	25
Árvízvédelmi készütség elrendelése	43	51
I. fokú vízszint bekövetkezése Tiszabecsen	37	45
A nyúlgátépítés megkezdése	25	33

A *Tisza jobb partján* lévő Magosliget-tizsakóródi árvízvédelmi szakasz még nem fejlesztett részén március 5-én hajnaltól megfeszített munkával, egy nap alatt összesen 6 500 m hosszban homokzsákokból építették ki a kb. 40-50 cm vizet tartó nyúlgátakat (2. kép) és a töltés átázása miatt 500 m hosszban bordás megtámasztást is készítettek.



2. kép. Nyúlgátépítés Tarpa és Tivadar között  
(Fotó: FETIVIZIG)

Picture 2. Emergency dike construction between Tarpa and Tivadar (Photo: FETIVIZIG)

A *Tisza bal partján* lévő Olcsvaapáti-szatmárcsekei árvízvédelmi szakaszon a vízügyi erők, a szolnoki védelmi osztag, a polgári védelem, a honvédség, a határőrség és közösen együttes erőfeszítése révén a gátszakadást sikerült elhárítani. Szatmárcseke térségében a nehezen megközelíthető helyeken suvadások kezdtek ugyan kialakulni, de ezen a helyen a töltés nem ment teljesen tönkre. A heves vízszintemelkedéssel versenyt futva március 5-én és 6-án 8 620 m hosszú nyúlgát épült itt meg, amely 20-40 cm vízszintet tartott. Talpszivárgást összesen 785 fm hosszban, csurgást 15 helyen észleltek.

Március 6-án reggeltől kezdve egyre szaporodtak a töltések állékonyságát veszélyeztető jelenségek.

#### A VÉDEKEZÉS HELYSZÍNI MUNKÁLATAI

Az LNV fölötti vízszintekre vonatkozó előrejelzés és a tetőzés bekövetkezése között (utólag már tudjuk) csak 17 óra állt rendelkezésre és sokkal hosszabb szakasz magasítását kellett elvégezni, mint egy LNV közeli szint esetén (4. táblázat).

A *Tisza jobb partján* lévő Tarpa-vásárosnaményi árvízvédelmi szakaszon – ahol a későbbi gátszakadások történtek – már március 5-én éjjel 1 órakor elkezdődött a homok szállítása, és hajnali 4 órakor pedig a homokzsákok töltése és beépítése is. Március 5-én és 6-án 13 óráig itt 7 780 m hosszú szakaszon épült ki nyúlgát, amely 20-50 cm vizet tartott, 8 helyen készült, összesen 1 070 fm hosszban bordás megtámasztás a szivárgásos és csurgásos töltés szakaszokon, valamint egy „buzgárfűzér” és egy buzgár végezték el.

Az áradás rendkívül heves volt, március 6-án délben a víz szintje egyezett a homokzsákból épített nyúlgát szintjével (3. kép). A kiépítetlen tarpai töltésszakaszon délelőtt rövid idő alatt számos helyen suvadt le a mentett oldali részű a korona élétől, helyenként a korona közepétől. A suvadások előtt és azokkal egyidőben számos csurgás is kialakult, azonban azokat sikerült hatástalanítani. A suvadásokat a védekező erők megpróbálták megtámasztani, azonban azok nagy száma, megközelíthetőségük egyre jobban romló feltételei, és a rendkívül gyors kialakulásuk miatt nem lehetett mindegyiket biztosítani. Az egyik suvadásnál (a 16 db közül) a töltéskorona 13:30-kor hirtelen berogyott, a víz nagy intenzitással tört ki a mentett oldalra, a gátszakadás kivédhetetlen volt. Egy óra múlva, egyidőben, két közeli suvadásnál szintén áttört a víz, a két áttörés rövid időn belül összemosódott, újabb gátszakadás alakult ki (Bodnár 2003). A kitörő víz megállítására nem volt esély. A Tisza Tivadarnál ekkor tetőzött 1014 cm-es vízállással, 56 cm-rel meghaladva az 1998-as, 149 cm-rel pedig az 1970-es LNV-t.

A gátszakadás után, amint a megközelítés biztosítható volt, a súlyosan megrongálódott töltések bevédését kellett elvégezni egy esetleges újabb árhullám érkezése előtt, így 16 db töltés suvadást védtek be kb. 400 fm hosszban bordás megtámasztással, és 300 fm megrongálódott új töltés bevédésére készült homokzsák terheléses terfil borítás.



3. kép. Átfolyás a nyúlgáton a Tisza jobb partján Tarpánál-2. (2001. március 6.) (Fotó: Magyar György)

Picture 3. Flow through the emergency dike on the right bank of the Tisza at Tarpa-2. (6<sup>th</sup> March 2001) (Photo: György Magyar)

A felkészülés és a védekezés főbb eseményeit a tiszabecsi vízállások alakulásával összehasonlítva a 9. ábra foglalja össze.

A március 6-án 13:30 órakor bekövetkezett első gátszakadásig összesen 30 km hosszú nyúlgát épült meg, alig több mint, egy nap alatt. Március 6-án a védvonalakon dolgozott 5 védelmi osztag 234 fővel, 9 PV komplex brigád 450 fővel, 1200 katona, 2600 fő közérő, összesen mintegy 6000 fő. A védekezési munkák műszaki irányítását 330 vízügyi műszaki dolgozó végezte (150 a FETIVIZIG állományából, 180 pedig más vízügyi igazgatóságoktól).

A szakaszvédelem-vezetők a Vásárosnamény-Tokaj közötti Tisza-szakaszon és a Lónyay-főcsatorna mentén is LNV feletti vízszinteket feltételezve készültek fel a védelmi munkákra.

Az árhullám Vásárosnaménynál március 7-én 10 órakor tetőzött, 18 cm-rel meghaladva az addigi LNV-t. A Vásárosnamény-Záhony közötti jobb és bal parti védvonalakon a vízszint néhány helyen elérte, illetve meghaladta a töltés koronaszintjét, hosszabb szakaszokon pedig 20-30 cm-re megközelítette azt.

Vásárosnamény-Záhony között a bal parton, a magasparti szakaszokon is védekezni kellett, az összekötő út is víz alá került. Hasonló problémák adódtak a Záhony-Tiszabercel közötti szakaszon is. A záhonyi tetőzés március 9-én 6 órakor következett be és 1 cm-rel haladta meg az addigi LNV-t. A töltések magassági kiépítése itt már megfelelő volt, csak néhány helyen jelentkeztek talpszi-várgások.

A Lónyay-főcsatornánál elsősorban a megelőzés érdekében épültek nyúlgátak a magassági hiányos szakaszokon, és bordás megtámasztások a kis szelvényű töltéseknél.

A Túron is jelentős, bár nem rendkívüli árhullám alakult ki, a garbolci tetőzés 66 cm-rel maradt el az LNV-től. Kiemelt figyelmet kapott az alsó, torkolati szakasz, ahol a Tisza visszaduzzasztása miatt LNV feletti vízszintekre kellett felkészülni. A túri védelmi helyzetet alapvetően

változtatta meg a Tisza bal partján Ukrajnában bekövetkezett gátszakadásokon kiömlő víz, ami a Batár-patak ukrainai védvonalait áttörve a Palád-patak völgyébe zúdult.

A Szamos saját árhulláma II. fokú szintet ért el, így a kiépített felső szakaszán nem alakultak ki árvízi jelenségek. Az alsó, torkolati szakaszon viszont a Tisza visszaduzzasztó hatása miatt rendkívüli készültség elrendelése vált indokolttá.

A Krasznának saját árhulláma nem volt, rendkívüli készültséget a torkolati szakaszára – a Tisza visszaduzzasztása miatt – rendeltek el.

A védekezés során megépített ideiglenes védelmi művek adatait, a felhasznált főbb anyagmennyiségeket és a védekezésben résztvevő gépek adatait az 5. táblázat foglalja össze. A védekezésben és a lokalizációs munkákban több mint 15 000 ember dolgozott.

5. táblázat. A 2001. márciusi felső-tiszai árhullámnál végzett védekezési munkák fontosabb adatai

Table 5. Important data of the protection works carried out at the March 2001 flood in the Upper Tisza

A védekezés során megépített ideiglenes védelmi művek:	
nyúlgát:	42 000 m
hullámverés elleni védelem:	3 000 m
bordás megtámasztás:	2 430 m
új töltés bevédése terfíllal:	1 490 m
Felhasznált főbb anyagmennyiségek:	
homokzsák:	2 580 000 db
homok:	35 100 m <sup>3</sup>
terfíll:	100 000 m <sup>2</sup>
fáklya:	200 000 db
kő, kavics:	85 000 t
fólia:	30 000 m <sup>2</sup>
karó:	6 000 db
Konténerzsák:	4 000 db
A védekezésben résztvevő gépek csúcsidőszakban:	
helikopterek:	12 db
PTSZ (kételtű):	15 db
közúti járművek:	543 db
építőipari gépek:	111 db
vízi járművek:	21 db
egyéb gépek:	71 db

### Vízátfolyás a Palád töltésén

Az előrejelzések alapján – az előzőekben bemutatott hidrometeorológiai helyzetnek megfelelően – a Túr garbolci szelvényében, s így a Palád-pataknál sem kellett a mértékadó is meghaladó vízszintre számítani. Viszont a Túr alsó és középső szakaszán a magas vízszint kialakulásához jelentős mértékben hozzájárult az, hogy ukrán területen, a Tisza bal parti töltésén Bökénynél és Királyházánál március 5-én 15-16 óra között gátszakadások következtek be. Az itt kiömlő vizet a magyar határnál egy ideig a Batár és a Palád-patak töltései megfogták, de a vízszint meghaladta a töltéskoronát. A Palád-patak felső szakaszán március 6-án éjjel 2 órakor kezdtek észlelni a vízszint gyors emelkedését, miután először a Palád-patak jobb parti töltését hágta meg az ukrán területi gátszakadásokból származó víz.



Március 6-án 4 és 6 óra között a kispaládi vízmércén 48 cm-t emelkedett a vízszint, ami kb. 5 órától mintegy 1 400 fm hosszban meghaladta a töltéskoronát (10. ábra). Március 6-án éjjel 2 óraker kezdtek el a nyúlgátak építését, amit Kispalád felől a gyors vízszintemelkedés miatt csak kb. 100 m hosszban, Magosliget felől pedig mindössze 20 m hosszban tudtak elkészíteni, mert egyrészt a területet nem lehetett megközelíteni, másrészt a zsákokat a helyenként 40-50 cm vastagságban átömlő víz elmosta. A Palád-patak és a Kishodos-Kispalád közötti út keresztezésének a lezárása homokzsákokkal megtörtént. Az átbukó víz március 7-én már apadni kezdett, s ekkor katonákkal, közerővel elkezdtek a víz útjának elzárását, amit március 7-én délre be is fejeztek. A töltéskoronán 50 órán keresztül folyt át a víz, de nem szakította át azt, csak nagymértékben megrongálta.



10. ábra. Vízátfolyás Ukrajnából a Palád-patakon keresztül és a Túr balpart 12+000 és 12+400 tkm szelvényében suvadásból kifejlődő szakadások

Figure 10. Water flow from Ukraine through the Palád stream and in the levee breach developed from sloughing at 12 + 000 and 12 + 400 levee km sections of the left bank of the Túr River

Összesen mintegy 10 millió m<sup>3</sup> víz folyt itt át magyar területre, ami kb. 35 km<sup>2</sup>-t öntött el, veszélyeztetve Kispalád és Botpalád településeket. A víz azonban csak Kispaládon ért el néhány házat. A védelemvezetés felkészült Tiszaköröd és Tiszacsécsé védelmére is. A kiömlő víz megszervezése az Alsó-Öreg-Túr torkolatánál telepített 5 db szállítható szivattyúval, majd gravitációsan a „Kerekes” zsilipen és a tiszakörödi zsilipen történt meg.

### Rézsúcsúszások, töltésrozkadás és –szakadás a Túr bal partján

A Túr bal partján, Sonkád térségében a 12+000 és 12+400 tkm szelvényekben kialakult töltésrozkadásokon a vízátfolyás március 6-án 10 óra tájban kezdődött el. A Túr töltése ezeken a helyeken az addigi LNV-t és a mértékadó vízszintet is meghaladó, a töltéskoronán átbukó víz és a rézsúcsúszás együttes hatására két holtmeder keresztezésnél ment tönkre. A nem megfelelő magasságú és szelvénymeretű, a holt-meder keresztezéssel is gyengített töltések nem bírták a rendkívüli vízterhelést, megcsúsztak, megrozkadtak, s az így keletkezett nyílásokon indult meg a víz átfolyása.

A rézsúcsúszások helyén előbb a 12+400 tkm szelvényben március 6-án 10 óra előtt, majd a 12+000 tkm szelvényben 10 óra után bersokadt a töltés, s a víz kb. 5-6

m szélességben átfolyt (10. ábra). Az átömlő víz gyorsan szélesítette a nyílást, s a Túr vízszintje két óra alatt 22 cm-t, majd újabb két óra alatt további 28 cm-t apadt. Az apadás hatására a töltéstesten való vízátfolyás a környéken és a Tisza torkolathoz közeli szakaszokon is megszűnt. Úgy minősíthető, hogy kedvező helyen történt a víz kifolyása, mert a kiömlő kb. 8-9 millió m<sup>3</sup> víz nagyobb mértékben nem öntött el lakott területeket. A víz kb. 40 km<sup>2</sup> mezőgazdasági területet borított el, de Vámosoroszi, Füledd, Turricse, Csaholc, Túrsvándi, Kőmörő településeket körtöltésekkel, s a csatornák elzárásával nagyjából meg lehetett védeni (10. ábra).

A Budapesti Regionális Védelmi Osztagot a sonkádi átfolyásokhoz március 6-án 11 óraker átirányították. A teljesen felpuhult, keskeny gátkoronán szádfalverő berendezéseket és szádlemezeket beszállítani nem lehetett, a töltéscsonkok bevédését helikopterekkel szállított, kövel töltött konténerzsákokkal végezték el. A vízátfolyások megszüntetése ideiglenes művekkel március 9-én 46-56 cm-es vízszintkülönbségnél történt meg (Bodnár 2003, FETIVIZIG 2004).

### Töltésszakadások a Tisza jobb partján Tivadar és Tarpa között

A Tisza jobb parti töltésén, a Tarpa térségében 2000 őszén abbamaradt töltésfejlesztés vége és Tivadar között a Tisza intenzív vízszintemelkedésével lépést tartva 2 700 m hosszban nyúlgát épült, amely végül 40-50 cm-es vizet tartott.

A nyúlgátak alatt és helyenként azok felett is kismértékű vízátfolyások voltak, s az ezekből származó víz átázta a töltéskoronát és a mentett oldali rézsút is. Ezek a körülmények lényeges szerepet játszottak a rézsúcsúszások kialakulásában. Az 54-56 tkm közötti töltésszakaszon az első megcsúszások március 6-án 5 és 8 óra között jelentkeztek, majd 11 órától 2,5 óra alatt gyors egymásutánban 16 töltéssuvadás keletkezett. (Ezek közül 5 suvás egy 200 m hosszú szakaszon alig egy óra alatt alakult ki.) A suvások a 2000. decemberében befejezett építési szakaszhoz csatlakozó helyen történtek, olyan védművön, ahol a korábbi védekezések (1998-2000) alkalmával veszélyes jelenségeket nem tapasztaltak, és olyan helyeken, ahol 2001. márciusában az építés megindulhatott volna.

A helyszínen lévő védelmi erők azonnal megkezdtek a suvások megfogását a csúszólap alsó élének megtámasztásával, de a közel függőleges oldalfalak bordás megtámasztására már nem volt idő, mert a szükséges anyagmennyiséget az átázott utakon, előtereken ilyen rövid idő alatt nem lehetett bejuttatni, s közben bekövetkezett a szakadás. A gátszakadás helyén ekkor az Árvízvédelmi és Belvízvédelmi Készlet Szervezet (ÁBKSZ), a FETIVIZIG és az Észak-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság (ÉDUVIZIG) védelmi osztagai 180 fős létszámmal, valamint a Polgári Védelem dombrádi Komplex Alegysége és közerő dolgozott, összesen 400 fő védekezett. A gátszakadás fizikailag és emberi számítások szerint nem volt elkerülhető.

Az 54+650 tkm-nél egy 25 m széles, a töltéskorona közepétől induló, a töltéslábig tartó suvásnál március 6-án 13:30-kor a töltés hirtelen 5,0 m szélességben 1,5 m mélységben megrozkadt és átszakadt (4. kép).





4. kép. A gátszakadás pillanata Tarpánál (2001. március 6. 13:30)  
(Fotó: Magyar György)

Picture 4. The moment of the dam breach at Tarpa (6<sup>th</sup> March 2001, 13:30) (Photo: György Magyar)

A kiszakadt nyílást a víz gyorsan mélyítette és szélesítette, elzárására esély sem volt. Az 55+350 tkm-ben 14:30-kor két egymáshoz 15 m-re lévő suvadásnál egyszerre következett be a töltéstest állékonyságának teljes elvesztése, s a víz először két, egyenként 5,0-6,0 m széles nyíláson áramlott ki, amelyet a víz rövid idő alatt egybemosott. A szakadások helye a későbbi pontos felmérések alapján az 54+235-54+345 tkm (tivadari szakadás), illetve 55+340-55+485 tkm (tarpai szakadás) közötti szelvényszámokra módosult. Március 6-án este a szakadások szélessége már 60-70 m volt (5. kép).



5. kép. Légi felvétel a tarpai gátszakadásról (2001. március 8.)  
(Fotó: FETIVIZIG)

Picture 5. Aerial view of the Tarpa dam breach (8<sup>th</sup> March 2001) (Photo: FETIVIZIG)

Az első szakadás végső szélessége 110 m, a másodiké 145 m lett. A szakadások szelvényében – egy viszonylag rövid szakasztól eltekintve – kopolya nem képződött, ami a későbbi helyreállítási munkálatokat kedvezően befolyásolta. Figyelemre méltó, hogy a szakadást alulról lehatároló kemény agyag réteg miatt, annak felszínén egy stabil bukóél-szerű földszáv maradt meg. (6. kép). A két szakadáson együttesen maximum 800 m<sup>3</sup>/s vízhozam, összesen 120-140 millió m<sup>3</sup> víz áramlott ki a Beregi öblözet területére.



6. kép. Bukóél-szerű töltésmaradvány a tiszai szakadásnál  
(Fotó: FETIVIZIG)

Picture 6. Weir crest-like dike remnant at the Tisza rift (Photo: FETIVIZIG)

### A GÁTSZAKADÁSOK OKAINAK VIZSGÁLATA

A gátszakadások műszaki okait, a töltések tönkremenetelének körülményeit a 10/1997. KHVM sz. miniszteri rendeletnek megfelelően az OMIT által március 6-án 20:20-kor kirendelt külön szakértői bizottság vizsgálta. Megállapították, hogy a vízügyi igazgatóság kezdettől fogva a lehetséges legnagyobb időelőny biztosítására törekedve szervezte a védekezési munkákat; megfelelő hidrológiai helyzetelemzésekkel, majd előrejelzésekkel időben intézkedett a várható védelmi helyzetnek megfelelően.

A Túron kialakult helyzet, az ukrán oldalon Tiszabökényénél bekövetkezett szakadásból a Paládba történő vízbetörés, annak mértéke, hatása nem volt előrelátható, az ellene való védekezés nem volt tervezhető, mert az egyébként példásan együttműködő ukrán szervezettől erre vonatkozóan nem érkezett jelzés, figyelmeztetés.

A Túr bal partján Sonkánál kialakult töltésszakadás-szal kapcsolatban megállapították, hogy a váratlan és előrejelezhetetlen védekezési helyzet, a töltések állapota, az adott anyagbeszállítási lehetőségek (sem a töltéskorán, sem az előtereken járművekkel nem lehetett közlekedni, a nyúlgátépítés csak kézi erővel, helyenként 1 000 m-en felüli távolságra behordott homokzsákokkal volt lehetséges) következtében a szakadás elhárítására nem volt lehetőség.

A Tisza jobb partján Tarpánál a kis szelvényméretű (1:1-es víz felőli és 1:1,5-ös mentett oldali rézsűjű) töltésre épített nyúlgátak 40-50 cm vizet tartottak. A nagy csapadéktól és az árvízi terheléstől átázott töltésen, a rendkívüli árvízi terhelés és a védmű adottságai miatt a töltésszakadás elháríthatatlan, sőt elkerülhetetlen volt. A szakértői bizottság részletesen feltárta a töltésszakadások geotechnikai okait és a töltésszakadás bekövetkezésének mechanizmusát. Megállapítást nyert, hogy

- az árvízvédelmi töltés védőképességét kritikusan veszélyeztető és végül töltésszakadáshoz vezető jelenségek kizárólag a töltésnek azon a mintegy 2700 m hosszú szakaszának egy részén következ-

tek be, melynek megerősítése a 2000. évben még nem készült el; a megerősített töltésszakaszon veszélyes mértékű jelenségeket nem észleltek;

- a töltéstest geometriájára és a terhelő vízszintekre vonatkozó adatok szerint a terhelés (a víznyomás) lényegesen meghaladta azt a mértéket, amelyre az adott töltés-szakaszt tervezték;
- a töltés 113 évvel korábban, az 1888. évi nagy árvíz után épült ki, anyaga elöregedett, szerkezete átalakult;
- a töltéstest felső, mintegy 1,5 m-es vastagságú része, a rézsú alatti részeket is beleértve, – az öregezés hatására – szerkezetessé vált, benne másodlagos pórusok alakultak ki; ez a szerkezetes talaj az árvíz megelöző csapadékos időjárás hatására teljesen telítődött;
- a 2001. márciusi rendkívüli árvíz szintje 85 cm-rel magasabb volt a mértékadó árvízszintnél (MÁSZ)-nál, 57 cm-rel az 1998. évi LNV-nél, és mintegy 40-50 cm-rel a kiépítetlen töltéskorona szintjénél;
- kritikus helyzet akkor állt elő, amikor az árvíz áradó szintje elérte, sőt meghaladta a homokzsák-nyúlgát felső szintjét, s a csúszólapon mentén gyors ütemben suvadások alakultak ki;
- a suvadások következtében ideiglenesen új egyensúlyi helyzet alakult ki, a lesuvadt talajtömeg mint részleges megtámasztó test működött, a csonka töltéstest egy ideig még állékonynak bizonyult;
- ez csak részleges megoldásnak bizonyult, a töltéstest eredeti állékonyságának visszaállítására – már csak az idő rövidsége miatt is – nem volt esély (FETIVIZIG 2004, Lazányi 2003).

### A GÁTSZAKADÁSOK IDEIGLENES ELZÁRÁSA

A Túr bal partján (Sonkád-Túricse-Csaholc térségében) két vízfolyás ideiglenes elzárására volt szükség. A 12+000 tkm-ben az elzárást a 36 fm hosszú CS2M lemezzel március 9-re, a 12+400 tkm-ben 65 fm hosszú pedig Larssen lemezzel március 12-re végezték el. Március 13-án a 12+000 tkm-ben lévő szádfal mögötti részt kőzsákokkal megtámasztották. A védekezés és a helyreállítási munkák során összesen 7,8 km hosszú megközelítő út stabilizálása történt meg.

A Tisza jobb parti, Tarpa és Tivadar közötti szakaszán a töltésszakadások bekövetkezése után azonnal elkezdődött az elzárás lehetőségeinek vizsgálata. A meteorológiai előrejelzések nem zárták ki az újabb árhullám érkezését, mely nyitott töltések mellett, kifolyó víztömegével mértéktelenül megterhelte volna a Beregi öblözetet. Nagy nehézséget okozott a munkálatok megkezdésénél, hogy a gáton keresztül a vízkiáramlás folyamatban volt, a mentett oldali gátláb jelentős részben víz alá került, ugyanakkor a töltéskorona oly mértékben átmedvesedett, hogy nehéz munkagépekkel járhatatlanná vált.

A helyi adottságok miatt a helyszínt sem vízen, sem szárazföldön, sem a töltéskoronán munkagépekkel nem lehetett megközelíteni. A töltéscsonkok bevédését és az átfolyási szelvény csökkentését helikopterekkel szállított,

kövel töltött konténerekkel március 8-án lehetett megközelíteni.

Földszállítás a töltéskoronán, illetve kiépített út hiányában a mentett oldalon teljességgel lehetetlen volt a szakadások áttöltésére. Ezért a koronatengelyben levert 8 m hosszúságú LARSEN szádfal lezárás mellett döntöttek azzal, hogy a szádfalveréssel párhuzamosan meg kellett kezdeni a mentett oldali kiemelt stabilizált út építését, amely lehetővé tette a szádfalak mindkét oldali földmegtámasztásának elkészítését, a végleges töltéstest kialakítását.

A Tisza jobb partján, a Tarpa és Tivadar közötti szakaszon a szádfalazási munkák március 11-én kezdődtek. A helyszín megközelítéséhez mindenekelőtt megfelelő teherbírási utat kellett megépíteni a töltéslábnál, a lehető leggyorsabban.

A tiszai töltésszakadások ideiglenes elzárását március 14-én illetve 15-én Larssen acéllemezekkel a helyszínrre vezényelt vízügyi osztagok fegyelmezett, szervezett munkával rekordidő alatt befejezték (*Kántor és Szöllösi 2003*) (7. kép).



7. kép. A tivadari gátszakadás helyreállítása  
(Fotó: Magyar György)

Picture 7. Restoration of the dam in Tivadar  
(Photo: György Magyar)

### LOKALIZÁCIÓ, IRÁNYÍTOTT VÍZVISSZAVEZETÉS A BEREGBEN

A védelemvezetés az 1947-48-as, szintén a Beregi sűjtő, töltésszakadással járó árvíz tapasztalatait felhasználva, a lokalizálás lehetőségét kihasználva, az irányított vízlevezetés mellett döntött, aminek végrehajtását azonnal megkezdte. A lokalizációs munkák alapját a Beregi öblözet 1979-ben készült lokalizációs terve képezte (FETIVIZIG 1979, Illés és társai 2003b). Az 53 évvel korábbi, 1947. évi szilveszteri tivadari töltésszakadás és beregi elöntés tapasztalatait összefoglaló részletes leírás (Szlávik és Fejér 1998) is jó szolgálatot tett, fontos információbázist biztosított a tennivalók meghatározásánál. A lokalizációs munkák menetét a helyszínen az OMIT által kirendelt szakértői csoport is figyelemmel kísérte (Reich és Nádor 2003).

Az északnyugatról–délkeleti irányban elnyújtott ellipszis alakú Beregi öblözet a Tisza jobb partján helyezkedik el. Északkeleten–keleten a Latorca, a Csaronda-Latorca,



az Alsó és Felső-Szernye, majd a Beregszász alatti dombok határolják. Fő vízfolyása a Csaronda. Mélypontja az ukrán területen levő egykori Szernye-mocsár (amelynek területét 2001-ig már meliorálták). Az öblözet teljes területe 930 km<sup>2</sup>, ebből a magyar terület 376 km<sup>2</sup>. A magyar területet a Tisza és az ukrán-magyar határ fogja közre. A terület a Tiszával párhuzamosan lejt délről északi irányba. Tengerszint feletti magassága az öblözet déli részén 110 ~ 111 m B.f., az északi részen pedig 103,50 ~ 104,50 m B.f. Mélyvonulataiban húzódnak a Makócsa, a Szipa, a Dédai-Micz és a Csaronda csatornák (egykori természetes vízfolyások).

A töltésszakadások 18 órán belül 110, illetve 145 m hosszúságúra fejlődtek ki; a 75 órán át kiömlő víz mennyisége mintegy 120-140 millió m<sup>3</sup> volt. A gátszakadásból származó víz magyar területen maximálisan 260 km<sup>2</sup>-t (az öblözet területének 70%-át), az ukrán területen pedig 60 km<sup>2</sup>-t öntött el, ott, ahol az 1947/48. évi árvíz is pusztított. Jelentős károk keletkeztek, de az árvíznek halálos áldozata nem volt.

A szakadások elzárásáig kifolyt víz a természetes terpesésnek megfelelően a Latorca vízgyűjtőjéhez tartozó terület mélyvonulatainak irányát követve megindult a Bereg, illetve az ukrán területen lévő Szernye-mocsár felé, amiről magyar vízügyi szervek azonnal értesítették az ukrán vízügyi szerveket és jelezték, hogy a víz 3-4 nap múlva eléri az ukrán településeket is.

A kiömlő víz tovaterjedésének feltérképezésére napi kétszeri alkalommal légi megfigyelésre került sor, amelynek adatait a települési védművek építésénél jól lehetett használni. Az előntési térképeket az ukrán fél naponta tájékoztatásul megkapta. A légi megfigyelések eredményeit, az előntés helyzetét térképen ábrázolták, s ezt a lokalizációs tervekkel összevetve, a helyzetet elemezve, határozták meg, hogy mely településeken lehet lokalizációs létesítményeket kiépíteni a lakóházak védelme érdekében, s a víz visszahúzódnásakor ennek alapján születtek meg a javaslatok a belterületeken a fertőtlenítés végrehajtására és a visszatelepítés megkezdésére. A szakadásokon kiömlő víz terjedését úrfelvételeken is követni lehetett.

### A KITÖRT VÍZ LEVONULÁSA A BEREGBEN

A Beregi öblözet területén a víz tározására meglévő holtmedrek, mély fekvésű területek állnak rendelkezésre, egyéb tározási lehetőség nincs.

Az előntés terjedése rendkívül gyors volt. A töltésszakadásokon kiömlő víz gyorsan elérte a lokalizációs terv által meghatározott első lokalizációs vonalat, a Tivadar-Tarpa közötti műutat. Az út a vizet kb. 3 óra hosszú ideig tartotta fel. Az utat meghágvá a víz a terep esésével meg egyezően a legmélyebb vonulatokon haladt végig a Tiszakerecsény, Lónya térségében és Ukrajna területén lévő leg-alacsonyabb pontok felé, követve a Makócsa, Szipa és Csaronda csatornák nyomvonalát. A Gulács-Tarpa közötti utat a víz március 6-án 17 óra tájban érte el.

A szakadásokon kiömlő víz március 7-én reggel érte el a második lokalizációs vonalat, a Vásárosnamény-Bereg-surány közötti 41. sz. főközlekedési utat, amely a Beregi

öblözet közepén, a víz levonulás irányára közel merőlegesen halad keresztül. Az út Geregelyugornya és Csaroda közötti szakaszán a belvizek átvezetésére 3 híd és 5 áteresz van, összesen kb. 100 m<sup>2</sup> átfolyási szelvényvel. A terepen érkező víz átfolyt ezeken az út alatti hidakon, átereszekon keresztül, azonban ezek a nyílások az érkező teljes víztömeget nem voltak képesek átteresztetni, s a felduzzadt víz március 7-én délutántól hosszú szakaszokon ömlött át az út koronáján (8. kép).



8. kép. Vízömlés a 41-es műút alatti áteresznél (Fotó: FETIVIZIG)  
Picture 8. Water sink at the culvert under highway 41  
(Photo: FETIVIZIG)

A 41. sz. főútnak, mint lokalizációs vonalnak a szerepe az, hogy mögöttes mintegy 70 millió m<sup>3</sup> vizet időlegesen visszatartsa, tározzon és ha ennél több víz nem folya ki a töltésszakadásokon, akkor a továbbfolyást megakadályozza. Az út koronáján történő vízatömlések után viszont nyilvánvaló volt, hogy az előntési folyamat szabályozása érdekében az utat át kell vágni. Ezzel volt elérhető, hogy a víz továbbvezetése szabályozottan, a legmélyebb vonulatokat követve történjen meg, s a környező települések ne kerüljenek a szabadon átfolyó víz útjába. Az út átvágására a legmélyebb helyeken, előbb március 8-án éjjel 1 órakor a Csaroda felőli oldalon, majd 2:30-kor Tákos térségében, egyenként 15 m szélességben került sor. Ezzel sikerült megakadályozni azt is, hogy az átfolyó víz az utat megrongálja, vagy átszakítsa. A nyílásokra ideiglenes hidak épültek, melyeken a közlekedés biztosítható volt az árvíz sújtotta települések megközelítésére (11. ábra, 9. kép).

Ha nem történik meg az út átvágása, a víz akkor is levonult volna a terpesés mentén, legfeljebb egy napos késéssel és ugyanilyen előntéseket okozott volna. Valószínű, hogy az út az átbukó víztől több helyen súlyosan károsodott volna, lehetetlenné téve a rajta való közlekedést. Korábban viszont nem volt célszerű átvágni az utat, mert akkor az út alatti településeket előbb öntötte volna el a víz, kevesebb időt hagyva a községek ideiglenes védelmi műveinek, lokalizációs vonalainak a kiépítésére. Az út összesen 29 óráig tartotta vissza a vizet.

A 41. sz. főúton átjutó víz a Makócsa, Szipa csatornák, valamint a Csaronda és a 36. sz. csatornák nyomvonalát követve vonult tovább Tiszadony-Vámosatya irányába, majd meghágvá a Tiszadony-Barabás közötti utat, folyt tovább a Csaronda és a Dédai-Micz csatornák és a terepen. Ezután a víz egy része átfolyt a Tiszakerecsény-Hetyen (ukrajnai település) közötti úton, s jutott a Csaronda-főcsatorna bal parti depóniája mellett magyar területen Lónyáig, ahol a Lónya és Harangláb (ukrajnai település) közötti út felfogta. A víz másik része tovább folyt a Csaronda-főcsatorna, az ukrán területen lévő Eszenyi zsilipig. Jelentős mennyiségű víz folyt át a határon, a mélyebb vonulatokon, holt medrekon keresztül ukrán területre, ahol a Csaronda és a Felső-Szernye töltései között bezárt területen okozott jelentős előntéseket és károkat. A víz terepen való levonulása az 1948. januári helyzettel teljesen analóg volt.



A jellemző átfolyási szelvényekben rendszeresen került sor vízhozammérésekre a víz towaterjedésének, előrejelzésének meghatározása és a vízkormányzás elősegítése céljából. Ezek az adatok felhasználásra kerültek a kitört víz levezetésének modellezése során is.

A két gátszakadásból kiömlő vízhozamból március 9-én a 41. sz. útnál maximum  $260 \text{ m}^3/\text{s}$  folyt át. A Tiszaadony-barabási útnál a hidakon, átereszekben, s az úton átfolyó vízhozam maximuma március 10-én és 11-én  $130\text{-}140 \text{ m}^3/\text{s}$  körül volt.



11. ábra. A tarpai gátszakadásokból kiömlő víz által elöntött terület, a víz levonulási iránya

Figure 11. The area flooded by the water flowing out of the Tarpa levee breach, the direction of water migration

A 41-es úton átfolyó víz egy része a Szipa főcsatorna tiszaszalkai zsilipjén keresztül a Tiszába visszavezetésre került (itt március 15-én  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  volt a maximális vízhozam). A kitört víz másik része a Tiszaadony-Barabás közötti úton haladt át, ahonnan maximum  $27 \text{ m}^3/\text{s}$  folyt tovább a Csarondán, maximum  $6\text{-}10 \text{ m}^3/\text{s}$  jutott át a Tiszakerecsény-Hetyen közötti úton és folyt le a Csaronda bal parti depóniája mentén, magyar területen Lónya felé, s végül kb. maximum  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  kerül át a terepen ukrán területre.

Ukrán területre a víz március 9-ről 10-re virradó éjjel kezdett átömleni, amikor elérte a Csaronda főcsatornát, feltöltötte annak medrét. Mivel a Csarondának ezen a szakaszán a csatorna vízvezető képessége mindössze kb.  $30\text{--}35 \text{ m}^3/\text{s}$ , a terepen előretörő mintegy  $200\text{-}300 \text{ m}^3/\text{s}$ -nyi vízhozam számottevő része Ukrajna felé ömlött át. A volt Szernye mocsár jellemzően  $102\text{--}103 \text{ m B.f.}$  szintű mély területe mintegy „megszívta” ezt a hatalmas víztestet.

Az elöntés március 7-én délután még csak a 41. sz. főút déli oldalán volt, ekkor a víz  $100 \text{ km}^2$ -t borított el. Március 10-11-én az elöntés  $180\text{-}190 \text{ km}^2$ -re növekedett. A maximális egyidejű elöntés nagysága március 12-én 16 órakor  $209 \text{ km}^2$  volt, ami március 15-ére  $180 \text{ km}^2$ -re, március 17-ére  $150 \text{ km}^2$ -re, március 19-ére  $110 \text{ km}^2$ -re, március 20-ára

$100 \text{ km}^2$ -re, március 25-ére  $75 \text{ km}^2$ -re (ebből ukrán  $30 \text{ km}^2$ ), március 31-ére  $36 \text{ km}^2$ -re csökkent.



9. kép. Ideiglenes hid építése a 41. sz. főút átvágásának áthidalására (Fotó: FETIVIZIG)

Picture 9. Construction of a temporary bridge on highway 41 to bridge the cutting through of the road (Photo: FETIVIZIG)

## ELÖNTÉSEK, A LAKOSSÁG KIMENEKÍTÉSE, KITELEPÍTÉSE

A Beregi öblözet 20 településéből hét került elöntésre (Csaroda, Gulács, Hete, Hetye, Jánd, Tarpa, Tákos, Vámosatya). Víz alá került Gergelyugornya és Gelénes egy része. Négy települést, amelyeket a víz elérte, ideiglenes védmű védett (Márokpapi, Tiszaadony, Tiszakerecsény és Gergelyugornya egy része). Öt település (Mátyus, Tiszaszalka, Tiszavid, Barabás, Lónya) ideiglenes védművét az eredményes vízkormányzás hatására a víz már nem érte el. Három település (Beregdarcó, Beregsurány, Tivadar) belterületét az elöntés nem veszélyeztette (11. ábra).

A töltésszakadások bekövetkezésekor a vízügyi igazgatóság javaslatot tett a Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Védelmi Bizottságnak a beregi települések lakosságának két ütemben történő kimenekítésére, kitelepítésre. A Megyei Védelmi Bizottság elnöke az első ütemben, március 6-án 16:45-kor 8 település (Tarpa, Gulács, Tivadar, Hete, Hetye, Márokpapi, Csaroda, Tákos, Jánd) lakóinak 6 órán belüli kimenekítését rendelte el. Ez 4 082 személyt érintett, további 3 674 fő a védekezési munkákra a helyszínen maradt. A kimenekítés második ütemét március 7-én 7 órakor rendelték el. Ez a döntés 12 településre (Gergelyugornya, Vámosatya, Gelénes, Barabás, Lónya, Beregsurány, Beregdarcó, Mátyus, Tiszakerecsény, Tiszaadony, Tiszavid, Tiszaszalka) vonatkozott, 7 109 személyt érintett, további 3 072 fő maradt a helyszínen a védekezési



munkákban való közreműködésre. Így a Bereg 20 településéből összesen 11 191 ezer embert telepítettek ki, 6 746 helyi lakos pedig a védelmi munkákra a helyszínen maradt. A települések elhagyásának kötelezettsége a védekezési feladatokba be nem osztott lakosságra vonatkozott, akik személyenként 20 kg súlyú útipoggyászt vihettek magukkal. Az állatokat szabadon kellett engedni.

A kimenekítésre vonatkozó intézkedések mellett gondoskodni kellett – többek között – a gátszakadásnál szabadba került gázvezeték kiváltásáról, a 41. sz. úton a közlekedésnek a védelmi erőkre történő korlátozásáról, a fertőtlenítésre való felkészülésről, az összedőlt és sérült házakból az értékek kimentésének megkezdéséről, a szükség szerinti védőoltásokról, az állati tetemek kezeléséről. Ezeket a speciális feladatokat a vízügyi igazgatóság műszaki javaslatai alapján, a Megyei Védelmi Bizottság koordinációja mellett, a védekezésben közreműködő hatóságok és intézmények látták el (10. kép).



10. kép. Tarpai falurészlet (2001. március 7.) (Fotó: Víz Zsigmond)  
Picture 10. Detail of the village of Tarpai (7<sup>th</sup> March 2001)  
(Photo: Zsigmond Víz)

Március 6-án és 7-én megkezdődött a védhető 9 településen a körtöltések kiépítése. Geodéziai felvétel készült a lokalizációs töltésekkel védett településekről a lokalizációs vonalak helyszínrajzi és magassági rögzítése érdekében. A lokalizációhoz szükséges anyagokat (zsákokat és

homokot) a vízügyi igazgatóság biztosította a településeknek, de ezeket több esetben már csak katonai eszközökkel, kétélűekkel, helikopterekkel lehetett beszállítani.

Az elöntött területen jelentős vízkormányzási feladatok voltak. Folyamatosan modellezték a kitört víz levezetési folyamatát.

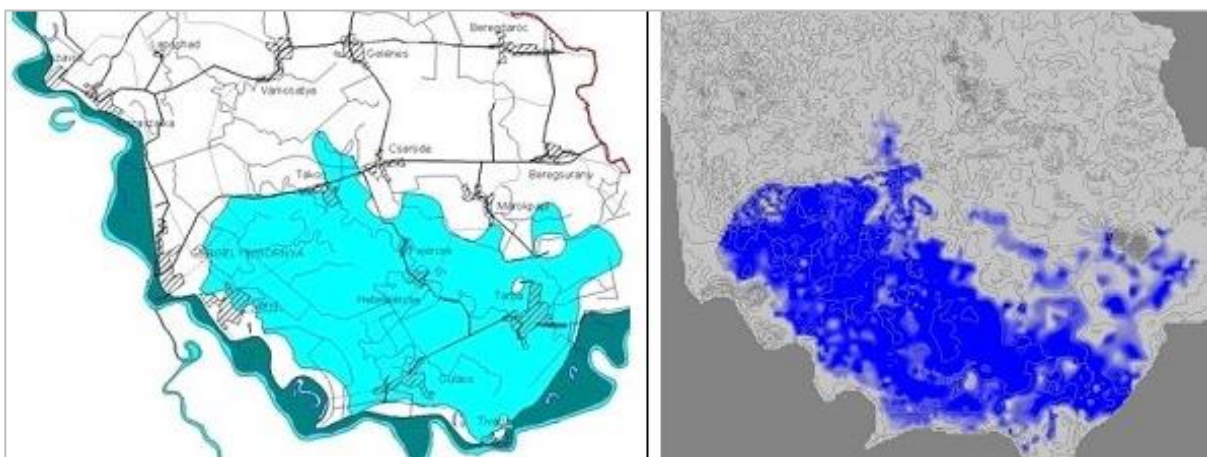
### A KITÖRT VÍZ LEVEZETÉSÉNEK MODELLEZÉSE

A 2001. márciusi beregi árvízi elöntés bekövetkeztekor az akkor épp folyamatban lévő módszertani fejlesztések eredményeként már rendelkezésre állt egy olyan, kétdimenziós modul is tartalmazó modellrendszer, amellyel a kitört víz terepen való mozgását számítani lehetett (Bakonyi és Józsa 2003). A modell segítségével az elöntési folyamatoknak a korábbi vizsgálatokban túlzóan egyszerűsített megközelítése helyett azok kétdimenziós, hidrodinamikai alapon való számítását végezték el.

Az elöntés folyamatát a hazánkban addig bekövetkezett folyami töltésszakadások közül talán a legrészletesebben sikerült – elsősorban légi megfigyelésekkel – végig kísérni és dokumentálni. Fontos körülmény volt, hogy rendelkezésre álltak az 1947–48. évi felső-tiszai árvíz elöntés utólagosan rekonstruált elöntési térképei is (Szlávik és Fejér 1998).

Még javában zajlott az elöntés, amikor a célszerű egyszerűsítések megtétele mellett gyors adatelőkészítéssel és feldolgozással adaptálták az új kétdimenziós modellt az öblözetre, elkészítették a digitális terepmodellt, majd a légifelvételek és megfigyelések alapján készített dokumentációk segítségével a modell elsődleges kalibrálását is sikerrel elvégezték. Ezzel a vizsgált területre olyan hidrodinamikai eszköz alapjait rakták le, amely a későbbiekben meghatározó mértékben járult hozzá az öblözet új lokalizációs tervének kialakításához.

A beregi öblözet elöntésének numerikus vizsgálata megmutatta, hogy a folyamat kétdimenziós hidrodinamikai modellezése szükséges, és a megvalósítás szempontjából 2001-ben egyben már lehetséges eszköze az ártéri folyamatok tér- és időbeni leírásának. A 12. ábrán bemutatjuk az elöntött terület pillanatnyi kiterjedését és a modelleredményt a töltésszakadásokat követő T=24. órában.



12. ábra. Az elöntött terület pillanatnyi kiterjedése: megfigyelés (bal oldal), modelleredmény (jobb oldal) a töltésszakadásokat követő T=24. órában

Figure 12. Instantaneous extent of the flooded area: observation (left side), model result (right side) after levee breaches at T = 24 hour

## VÍZKIVEZETÉS A BEREGI ÖBLÖZETBŐL

Magyar területen mindössze 25 m<sup>3</sup>/s gravitációs kapacitás állt rendelkezésre a Bereg víztelenítésére a Tiszaszalkai szivattyútelepnél. A zsilipnyitás ott március 11-én 7 órakor történhetett. Ugyanott a szivattyútelep névleges kapacitása 13 m<sup>3</sup>/s volt. A szivattyúüzem március 10-én déltájban kezdődhetett, mert addig a telep villamos berendezése víz alatt volt.

Ukrán területen a víz visszavezetésére rendelkezésre állt a Szalócai szivattyútelep (6,2 m<sup>3</sup>/s), valamint a Csaronda főcsatorna tiszai torkolati szivattyútelepe (18 m<sup>3</sup>/s), valamint gravitációs műtárgya, az Eszenyi-zsilip (37 m<sup>3</sup>/s). A zsilipnyitás ott március 14-ről 15-re virradó éjjel történhetett meg, miután addig magas volt a Tisza víz-állása. A Csaronda–Latorca főcsatorna medre jól karbantartott, becsülhetően akár a 100 m<sup>3</sup>/s vezetésére is képes lehetett volna a Latorca felé. A torkolati műtárgyban egy 16 m<sup>3</sup>/s-os szivattyútelep van, gravitációs bevezetési kapacitása 30-50 m<sup>3</sup>/s, de a Latorca magas vízállása miatt ezt is csak március 20-ától lehetett igénybe venni.

A stabil szivattyútelepekkel összesen tehát 47 m<sup>3</sup>/s-os víz-visszavezető kapacitás állt rendelkezésre az öblözetben, a jelentős, 100 m<sup>3</sup>/s-nyi gravitációs kivezetés lehetőségével pedig csak a Tisza, ill. a Latorca megfelelő mértékű apadása, március 20-a után lehetett élni. Az előtött öblözet helyzetét tekintve tehát kulcskérdés volt a víztelenítés megfelelő ütemének biztosítása. Ezért fontos volt, hogy minél nagyobb mobil szivattyú kapacitás kerüljön az öblözetbe.

Magyar oldalon március 11-től két helyen történt szivattyú provizóriumok telepítése: Jándon 17 db, összesen 5,3 m<sup>3</sup>/s kapacitású és Tiszkerecsenyben 3 db, együttesen 0,6 m<sup>3</sup>/s kapacitású hordozható szivattyút üzemeltet be. Ukrán oldalon csúcsban 30 db magyar szivattyú működött, 15 m<sup>3</sup>/s együttes kapacitással (Szalóka, Eszeny, Nagybakos, Cservona térségében). A mély területekről, zugokból a szivattyúzás csúcsban 84 db kisebb géppel történt. Az öblözet magyar és ukrán részén egyidejűleg maximum 145 db mobil szivattyú üzemelt, együttes kapacitásuk 29,34 m<sup>3</sup>/s volt. A terület mélyebb részeinek víztelenítésére még április 2-án is 70 db szivattyú működött.

A Beregben 8 ezer ember dolgozott folyamatosan a védvonalakon, a lokalizációs töltések megépítésén, a víz kivezetésén. Folyamatos volt az együttműködés a megyei védelmi bizottság, a vízügy és a katasztrófa-elhárítási szervek között. Március 10-én délután az első öt településre (Beregsurány, Beregdaróc, Márokpapi, Tarpa, Tivadar) már visszaköltözhetnek a lakosok. Március 12-én reggelre a kiöntött víz szintjének csökkenése megindult Tiszaadony és Tiszkerecseny térségében is, így oda is vissza lehetett költözni, majd a továbbiakban a víz levezetésével párhuzamosan folyamatos volt a visszaköltözés. A belterületeken a leghosszabb vízborítás 29 napig tartott.

## AZ ÁRVÍZVÉDEKEZÉS UKRÁN VONATKOZÁSÚ ESEMÉNYEI

Az árvíz során a magyar-ukrán kormányközi határvízi egyezményben és szabályzatban foglaltakon túl is folyt az információcsere és a műszaki segítségnyújtás: a két ország vízügyi szervei folyamatosan, naponta tájékoztatták egymást a hidrometeorológiai és hidrológiai adatokról, az árvíz- és belvízrendszerek üzemeléséről és a védelmi készütség fokáról. Az ukrán fél azonnal tájékoztatást kapott a gátszakadások helyéről, idejéről, az átfolyó víz mennyiségéről, ukrán határra érkezésének várható időpontjáról. Átadásra kerültek a kiömlött víz

lokalizálási és visszavezetési lehetőségeiről készített számítások, valamint folyamatos tájékoztatás kaptak a foganatosított intézkedésekről (útátvágások, kitelepítés, lokalizációs védvonal építése stb.).

A beregi öblözet ukrán területén a nagyobb vízmélység miatt 5 település (Heteny, Harangláb, Danyilovka, Bagolyszállás, Szatnyecsnoje) került veszélybe, teljes egészében vagy részben elöntésre. A magyar segítség az első pillanattól kezdve jelen volt az ukrán védekezés végrehajtásában és szervezésében. Az ukrán fél részére védekezési létszám, anyagokat és eszközöket biztosítottak, ezen túlmenően légi felderítéssel, ürfelvételek és mérőcsoportok átadásával is segítették a védekezést.

A rendkívüli árvízveszélyre való tekintettel a két ország szakemberei együtt vettek részt a védekezési munkálatokban. Az ukrán vízügyi szervek részt vettek Lónya község lokalizációs védvonalainak kiépítésében gépek és anyagok biztosításával, mivel a települést akkor csak Ukrajna felől lehetett megközelíteni.

Magyar védelmi osztag március 10-től előbb 10 db, majd további 20 db 500 l/s teljesítményű szállítható szivattyút telepített és üzemeltetett a Tiszába való vízlevezetés gyorsítására, valamint az előtött területek vizének levezetésére.

A közös munka eredményeképpen az ukrán területen lévő települések veszélyeztetettsége március 31-re megszűnt.

## A VÉDMŰVEK HELYREÁLLÍTÁSA

A FETIVIZIG kezelésében lévő művekben (töltések, utak, folyószabályozási művek, épületek, belvízi létesítmények) jelentős károk keletkeztek. A töltésszakadások, suvadások, vízátfolyások helyén és azok környezetében, valamint a védekezéskor igénybevett szakaszokon olyan súlyosan megsérültek a töltések, hogy az OMIT vezetője és elrendelte az azonnali helyre állításukat, a Tisza jobb parton 8,05 km, a Túr bal parton 1,9 km, a Palád jobb parton pedig 1,8 km hosszban.

A helyreállítási munkák tervezése és kivitelezése a gátszakadást követő napon megkezdődött (*Kertai és Vincze 2003*). A teljes töltésszakasz helyreállításának módját alapvetően meghatározta az a körülmény, hogy a töltésszakasz hullámtéri oldala a Szatmár-Beregi Tájvédelmi Körzet része, vagy védelembe vonásra tervezett terület és a hullámtéri anyaggyödrök, valamint a hullámtér egy része az árvizet követően még hosszú ideig víz alatt állt, lehetetlenné téve így a vízdoldali bővítést. Ezért mentett oldali töltéserősítést terveztek, a magassági hiány megszüntetésével, másrészt a töltés- és altalaj állékonyság növelésével.

Az új töltés 4,0 m koronaszélességű, koronaszintje a mértékadó árvízszint +1,30 m-ben került meghatározásra. Az 1,30-as magassági biztonságot a Tivadar-Kisar közötti Tiszahíd környéki, illetve az alatta található szűkület jelentős visszaduzzasztó hatása indokolta. A vízdoldali rézsűhajlás 1:3, a mentett oldali – költségkímélés miatt, de a megkívánt állékonyságot biztosítva – 1:2,5-es hajlású. Az 52+500-52+623 tkm között a töltésszakasz magassági biztonsága parapetfallyal biztosított, és a töltéskoronára 3 m széles sétányburkolatot terveztek.



Az előzőekben részletezett szádfalás elzárások elkészülte után – a tervezéssel szinte párhuzamosan – megkezdődött a töltések előírásoknak megfelelő méretű és szintű kiépítése. Az építési körülmények a Tisza és a Túr mellett is rendkívül nehezek voltak. A tarpai töltések építéséhez az anyagot például a Tisza túlsó partjáról, Magyar térségéből kellett gépkocsival szállítani.

A tarpai helyreállítás 2001. május 14-én, a tönkrement töltésszakaszok teljes helyreállítása 2001 novemberében fejeződött be.

### ÁRVÍZKÁROK, HELYREÁLLÍTÁS

Az előzetes felmérések szerint a személyi tulajdonú lakóépületekben, önkormányzati tulajdonban lévő építményekben, egyéb (egyházi tulajdonú, műemlék) épületekben, önkormányzati utakban, hidakban, más műtárgyakban, az agráriumban, az állami vízkárelhárítási létesítményekben, elsőrendű árvízvédelmi művekben, valamint a közút- és vasúthálózatban keletkeztek károk.

A beregi térségben keletkezett árvízi károk enyhítéséről szóló 1025/2001. (III.23.) határozatában a Kormány tudomásul vette az elsődleges kárfelmérések adatait. Kötelezettséget vállalt az elpusztult vagy megrongálódott lakásoknak legalább a vészhelyzet bekövetkeztét megelőző minőség és komfortfokozat szerinti újjáépítésére; az önkormányzati kötelező feladatok ellátásához szükséges épületek; utak, hidak, egyéb műtárgyak és kompok veszélyhelyzetet megelőző használhatósági szinten történő helyreállítására.

A Kormány a helyreállításon és újjáépítésen túl döntött a helyi közlekedési feltételek javításáról, a közműfejlesztésről, a kistérség vidékfejlesztési és ökoturizmus-tervének kidolgozásáról, az árvízvédelem szenvedett kárpátaljai terület újjáépítésének megsegítéséről.

Március 23-án kezdődött el az összeomlott és életveszélyes épületek bontása. A táj építészeti hagyományaihoz igazodó új épületek ajánlati tervpályázatára beérkezett 170 pályaműből április 9-én a bíráló bizottság 17 tervet fogadott el.

A kivitelezésben mintegy 240 alvállalkozó vett részt, csúcsideszakban közel 10 000 fő dolgozott az építkezésen. A kivitelezés 2001. május 8-án kezdődött el. Az első bokréta-avatás május 26-án, míg az első házátadás 2001. június 22-én történt meg, valamennyi Tákoson.

A március 13-tól végrehajtott előzetes kárfelmérés összesen 2 714 épület károsodását regisztrálta, 181 ház az árvíz alatt megsemmisült, 870 épület súlyosan károsodott, 1 663 lakó vagy középületről lehetett feltételezni, hogy helyreállítható. Az elsődleges károk pontosítása április 28-án, a végleges kárfelmérés augusztus 1-én zárult le.

A végleges adatok szerint a 2001. márciusi árvíz következtében 46 településen 2870 lakóépület károsodott. Ebből 283 pótlását nem kellett megoldani, mert a tulajdonos lemondott a kárenyhítésről, nem volt fellelhető, idősök otthonában kért elhelyezést stb. 711 család újjáépített,

1 476 család helyreállított, 201 család vásárolt lakóházba költözött, 124 család pénzbeli kártalanításban részesült. A kisebb károsodások kijavítása a lakók kiköltöztetése nélkül történt. 2001. december végén – néhány kivételtől eltekintve – átadásra kerültek a személyi tulajdonú lakóingatlanok.

Az árvíz 144 önkormányzati tulajdonba tartozó, a közösségi feladatok ellátásához kapcsolódó ingatlanban okozott károkat. Az önkormányzati ingatlanok közül 17 újjáépült, 4 vásárlással került pótlásra, 123-at helyreállítottak.

Megtörtént az árvíz kárt szenvedett egyházi tulajdonú, valamint a műemléki védeltséget élvező ingatlanok helyreállítása és újjáépítése is, a közvetlen károk javításán túlmutató felújítással, restaurálással és fejlesztéssel együtt.

Az árvíz következtében a térségben, az országos közúthálózatban, mintegy 200 km-en keletkeztek károk, az önkormányzati utak 60 településen károsodtak. Az árvíz levonulása után alig két héttel megtörtént az utak járhatóságának biztosítása. A május 20-án megkezdődött helyreállítási munkálatok során 2001-ben befejeződött 181 km úthálózat és a 41. számú főút átvágásának rekonstrukciója. A megkezdett fejlesztések és beruházások 2002 nyarára zárultak le (*OKF 2002, Ambrusz és Muhoray 2016*).

### AZ ÁRVÍZVÉDEKEZÉS FŐBB TAPASZTALATAI

#### Együttműködés a védekezés közreműködői között

A védekezés valamennyi résztvevője fegyelmetten, szervezeten és a lehetséges legnagyobb erőfeszítéssel vett részt az árvíz katasztrófa elhárításában. Munkájuk elismerést érdemel. A honvédségi erők személyi állománya és speciális technikája nélkülözhetetlenek bizonyult egy ilyen mértékű árvízvédekezésnél. A védekezésben, a védekezés irányításában a vízügyi szolgálat valamennyi bevethető ereje részt vett. Egy kedvezőtlenebb, elhúzódó, vagy a Duna vízrendszerére is kiterjedő vízkárelhárítási eseményre tartalék már nem állt volna rendelkezésre. A védekezés tartama alatt korrekt és eredményes, példaértékű volt az együttműködés a szomszédos országok vízügyi szakembereivel, szerveivel.

Az együttműködő tárcák közül a *Belügyminisztérium* szerveinek jelentős átcsoportosítási és készletügyi feladatokat kellett a védekezés során ellátnia. A *Katasztrófavédelmi Szervezet* legnagyobb feladata a települések kitelepítése, kimenekítése, valamint a víz levonulása után a területek fertőtlenítésének és a visszatelepítésének szervezése volt. A *Polgári Védelem* sikeresen közreműködött a védekezési létszám biztosításában, szervezésében. A *Tűzoltóság* szükség esetén részt vett a védekezési munkákban, segítette a veszélyeztetett településeket az átszivárgó vizek szivattyúzásával, elvezetésével; bűvárszolgálat a gátak fóliázásában működött közre. Kiváló munkát végeztek, méltatlanul keveset hallott róluk a közvélemény. A *Rendőrségnek* jelentős feladatot adott a védekezés közlekedési útvonalainak biztosítása, valamint a kitelepített területek és épületek védelme. Nagy hozzáértéssel a védelem irányításával kiváló kapcsolatot tartva végezték munkájukat.

A *Honvédelmi Minisztérium* 2001-ben is a védekezés egyik meghatározó közreműködője volt. Szervei lehetőségeik határait kimerítve biztosították a szükséges katonai kontingens igénybevételét. Katonai erők vettek részt a legkritikusabb gátszakaszok védekezési munkáiban, a veszélyeztetett települések védelmében, illetve különleges eszközökkel (helikopterek, PTSZ-M-ek, terepjáró gépkocsik és egyéb felszerelések) védelmi anyagot szállítottak a leginkább veszélyeztetett helyekre és számos, egyéb feladatot láttak el. A honvédség ilyen típusú igénybevétele nélkül a védekezés sikere erősen kérdéses lett volna.

Az *Egészségügyi Minisztérium* intézkedései főként az ivóvízbázisok és ivóvízhálózatok fokozott ellenőrzésére, a szennyezőforrások felmérésére és megszüntetésére, az előtöltött épületek és területek fertőtlenítésére, valamint a veszélyeztetett lakosság védőoltással való ellátására irányultak.

Külön is ki kell emelni a *Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Védelmi Bizottság* munkáját, amely az elmúlt évek kiemelkedő vízkáreseményein gyakorlatot szerezve megfelelően látta el feladatát.

Az *önkormányzatok* vezetése általában konstruktívan állt a feladatokhoz, vízügyi irányítással, de önállóan szervezték a fenyegetett települések védelmét. A rendkívüli árvíz nagy megpróbáltatást jelentett a térségben élő lakosság, elsősorban a beregiek számára. A *lakosság* nagy többsége – a javaikat ért súlyos csapás ellenére – együttműködésével segítette a védekezési feladatot ellátókat. A lakosság fegyelme, összefogása, áldozatkészsége példaértékű volt és döntő erejévé vált a védekezésnek.

### Előrejelzés

Ismét bebizonyosodott, hogy a Felső-Tiszán a csapadék tevékenység és az árhullám országhatárra érkezése között rendkívül kevés idő áll rendelkezésre. A védekezés eredményességéhez jelentősen hozzájárult, hogy mindenkor jó előrejelzések, pontos információk és helyzetértékelések álltak rendelkezésre. Ezeknek az információknak jelentős része külföldről, a vízjárás szempontjából meghatározó jelentőségű vízgyűjtőkről érkezett. Egy ilyen összetett árhullámnál, az előrejelzések készítésénél nagy tömegben és nagy gyakorisággal kell, hogy az adatok rendelkezésre álljanak a külföldi vízgyűjtőről. Az árvízi információs és távjelző rendszer (melynek fejlesztése az árvízvet megelőzően is folyt) jól működött. A vízállás előrejelzések pontosak voltak, ami nagymértékben köszönhető annak is, hogy már működött az ukrán oldalon, Huszton és Técsőn a távjelző állomás.

### Árvízvédelmi művek

Nagy jelentősége volt, hogy a Felső-Tisza árvízvédelmi fejlesztése keretében 1997-től összesen 36 km hosszú töltés szakaszon megvalósult a töltésfejlesztés, mert e nélkül a Tisza bal partján is lettek volna töltés szakadások, amelyek a bekövetkezettnél nagyságrendekkel súlyosabb károkat okoztak volna a Palád-Csécsei, illetve a Tisza-Szamosközi árvízi öblötben. (Az addigi fejlesztések nélkül helyenként több, mint 1,3 m-rel haladta volna meg a víz-

szint a töltések koronaszintjét.) A védekezés eseményei egyértelműen igazolták, hogy a megelőző évek fejlesztései szükségesek és hasznosak voltak. Azokon a védelmi szakaszokon, ahol a művek az előírásoknak megfelelően már megerősítésre kerültek, ott kritikus védelmi helyzet sehol sem alakult ki, a védekezés igénye mind létszámban, anyagban és eszközben, mind pedig az anyagi ráfordítást illetően jelentősen, egy nagyságrenddel kisebb volt.

A mértékadó árvízi terhelést helyenként jelentősen meghaladó igénybevétel a védvonalak egyes szakaszain számottevő károsodásokat okozott. Ezeken a szakaszokon a védműveket csak ideiglenes beavatkozásokkal lehetett megvédeni az árvíz időszakában, védőképességük bizonytalan, az előírtól jelentősen kisebb, ezért helyreállításuk elengedhetetlen.

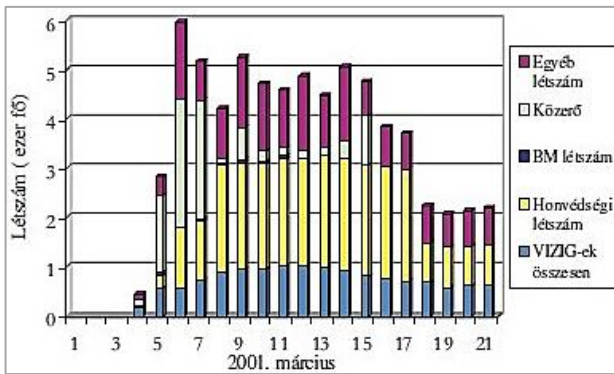
A töltésszakadások mindenütt olyan helyeken, azokon a töltésszakaszokon következtek be, amelyek kiépítése az előírásoknak nem volt megfelelő. Ismételtén beigazolódott, hogy az árvízvédelem kockázatát csak akkor lehet csökkenteni, ha a védművek az előírásoknak megfelelő mértékre rövid idő alatt kiépülnek és teljes körűen korszerűsítésre kerül az árvízvédelem infrastruktúrája.

A 2001. évi felső-tiszai árvíz ismét a korábbi maximumok felett tetőzött és a gátszakadást is okozó árvízi jelenségek egyrészt ismételtén és nyomatékosan támasztották alá a töltéserősítési és egyéb árvízvédelmi célokat szolgáló munkálatok gyorsításának szükségességét, másrészt igazolták a korábbi prioritási sorrendeket.

A Tisza vízrendszerében 1998 novembere óta már negyedik alkalommal fordult elő sorozatban rendkívüli árvízi helyzet. A 2001. évi tapasztalatok megerősítették, hogy folyóinkon bármely időszakban, akár egymást követően is kialakulhatnak jelentős árvizek, azokra fel kell készülni, sajátosságaikat, - nevezetesen azt, hogy azonos vízhozamok mellett folyamatosan emelkedő árvízszintek mellett vonulnak le az árhullámok - fel kell tárnunk. Az árvizek által felvetett új problémák kezelésére és megoldására hosszú távú új típusú árvízvédelmi koncepció kimunkálását kezdte meg a vízügyi szakma, a *Vásárhelyi Terv Továbbfejlesztése (VTT)* c. program keretében (*MTA-MHT 2003*).

### A védekezés összesített adatai

A védekezés során kiépült összesen 42 000 m nyúlgát (ebből 30 000 m március 5-6-án), 2 430 m bordás megtámasztás, 4 500 m hosszon hullámverés elleni védelem. A belterületek védelmére lokalizációs vonalak épültek a Beregben 9, a Tisza-Szamos közben 7 településnél, összesen 50 km hosszán. Az öblöt magyar és ukrán részén az előtöltött területek szivattyús víztelenítésére egyidejűleg maximum 145 db mobil szivattyú üzemelt, együttes kapacitásuk 29,34 m<sup>3</sup>/s volt. A védekezésben csúcsban több mint 15 ezer ember, 543 db közúti jármű, 111 db építőipari gép, 21 db vízi jármű, 12 db helikopter, 15 db kételtű katonai szállítójármű vett részt. Felhasználtak – többek között – 2,6 millió homokzsákot, 100 ezer m<sup>2</sup> terfilt, 200 ezer db fáklyát stb. (5. táblázat, 13. ábra).



13. ábra. A FETIVIZIG védekező létszáma és összetétele 2001 márciusában (FETIVIZIG 2004)

Figure 13. Number and composition of the defense staff of FETIVIZIG in March 2001 (FETIVIZIG 2004)

## ÖSSZEGRÖZÍTÉS

A vízügyi szolgálat védelmi szervezete 1998-tól többször volt alapos próbának kitéve a Tisza-völgyi rendkívüli árvízvédekezések alkalmával. A 2001. márciusi árhullámnál a védekezéshez szükséges irányítói létszámot és védelmi osztagokat, a szükséges anyagokat a vízügyi igazgatóságok a rövid idő ellenére a helyszíneken biztosítani tudták.

A védekezési események során számtalan kritikus helyzet adódott, de ahhoz, hogy a védekezők, a gátszakadások és az elöntések ellenére uralni tudják a helyzetet, mindenkor korrekt és fegyelmezett együttműködésre volt szükség. Ez megmutatkozott abban is, hogy a védekezés teljes időszakában mindenkor rendelkezésre állt a szükséges létszám, védelmi anyag, eszköz és felszerelés, jóllehet a megközelítési és időjárás körülmények megnehezítették a védekezők munkáját.

A 2001. márciusi árvízi események összefoglalásaként megállapítható, hogy a védekező szervezetek együttműködésének köszönhetően, a fegyelmezett és jól szervezett védekezéssel, a védtöltés kiépíthetőségéből fakadó töltésszakadások és a települések elöntése ellenére, az irányított vízlevezetés és lokalizálás eredményeképpen sikerült a károkat minimalizálni, és az árvíz emberéletet nem követelt.

## IRODALOMJEGYZÉK

Ambrusz J., Muhoray Á. (2016). A 2001. évi beregi árvíz következményeinek felszámolása, a kistérség rehabilitációjának megszervezése. *Védelem tudomány*, 2016. március.

Bakonyi P., Józsa J. (2003). A kitört víz levezetésének modellezése. *Vízügyi Közlemények* 2001. évi árvízi külön füzet. 2003.

Bodnár G. (2003). A 2001. évi felső-tiszai árvíz elleni védelem. *Vízügyi Közlemények* 2001. évi árvízi külön füzet.

FETIVIZIG (1979). A Beregi árvízvédelmi öblözet lokalizációs terve. Kézirat, Nyíregyháza.

FETIVIZIG (1997). A Felső-Tisza-vidék árvízvédelmi rendszerének fejlesztése. Tanulmány. Kézirat.

FETIVIZIG (2004). A 2001. márciusi felső-tiszai árvíz. Nyíregyháza. p. 297.

Homokiné Ujváry K. (2001). Márciusi árvíz Kárpátalján. *Légtör*, 2001. évi 2. szám.

Horkai A., Szlávik L. (2003): A 2001. évi felső-tiszai árvíz eseménynaptára. *Vízügyi Közlemények* 2001. évi árvízi külön füzet.

Illés L., Konecsny K. (1995). Az 1993. decemberi felső-tiszai árvíz hidrológiai tapasztalatai és az előrejelző rendszer hatékonyságának értékelése. *MHT XIII. Országos Vándorgyűlés*, Baja.

Illés L., Konecsny K. (1996). Az 1995. decemberi felső-tiszai árhullám hidrológiája. *Vízügyi Közlemények* 1996, 1. füzet.

Illés L., Konecsny K. (2001). Az árhullám hidrológiai jellemzése. In: *Az 1998. novemberi felső-tiszai árvíz. FETIVIZIG-VIZITERV*, Nyíregyháza-Budapest.

Illés L., Konecsny K., Kovács S., Szlávik L. (2003). Az 1998. novemberi árhullám hidrológiája. *Vízügyi Közlemények* 1998. évi árvízi külön füzet.

Illés L., Kerti A., Bodnár G. (2003). A Beregi öblözet lokalizációs terve. *Vízügyi Közlemények* 1998–2001. évi árvízi külön füzetek, IV. kötet.

Kántor I., Szöllősi Z. (2003). Az ÁBK SZ Kht. Közreműködése az 1998–2001. évi Tisza-völgyi védekezésekben. *Vízügyi Közlemények* 1998–2001. évi árvízi külön füzet. IV. kötet.

Kertai I., Vincze Z. (2003). A 2001. évi árvíz utáni helyreállítási munkák tervezése. *Vízügyi Közlemények* 2001. évi árvízi külön füzet.

Konecsny K. (2001). Árvízi előrejelzések és időelőnyük a 2001 márciusi felső-tiszai árvíz idején. *Felső-Tisza Híradó*, 2001. évi 3. szám.

Konecsny K. (2003): Az 1998–2001. évi időszak hidrológiai értékelése a Felső-Tiszán. *Hidrológiai Közlemények* 83. évf. 2. szám.

Lászlóffy W. (1972). Az 1970. évi tiszai árhullámokat kiváltó csapadékviszonyok és a belőlük levonható tanulságok. In: *Az 1970. évi Tiszavölgyi árvíz műszaki tapasztalatai*. MTA-OVH-MHT, VÍZDOK, Budapest.

Lászlóffy W., Szilágyi J. (1971). Az 1970. évi tiszavölgyi árvíz hidrológiai jellemzése. *Vízügyi Közlemények*, 1971. évi 3. szám.

Lazányi I. (2003). A töltésszakadások geotechnikai okai. *Vízügyi Közlemények* 2001. évi árvízi külön füzet.

MTA-MHT (2003). Az MTA-MHT szakmai konferencia ajánlása a 2001. évi felső-tiszai árvízzel kapcsolatban (Nyíregyháza 2001. április 19.) *Vízügyi Közlemények* 2001. évi árvízi külön füzet.

OKI (2002). Az Országos Katasztrófavédelmi Igazgatóság 2002. januári jelentése In: *Újjáépítés a Beregben* (www.epa.oszk.hu/ EPA02952\_orzagepito\_2002\_1m) [A forrás 2021-ben már nem érhető el az interneten.]

Reich Gy., Nádor I. (2003). Lokalizációs munkák és tapasztalatok a Beregben. *Vízügyi Közlemények* 2001. évi árvízi külön füzet.



Szlávik L., Fejér L. (1998). Töltésszakadások a Felső-Tiszán 1947 szilveszterén. *Vízügyi Közlemények*, 1998. évi 2. füzet.

Szlávik L., Szekeres J. (2003). Az árvízi vízhozammérések kiértékelésének eredményei és tapasztalatai (1998-2001). *Vízügyi Közlemények* 1998-2001. évi árvízi külön füzet. IV. kötet.

Szlávik L. (2003). A 2001. évi felső-tiszai árvíz kialakulása és hidrológiai sajátosságai. *Vízügyi Közlemények* 2001. évi árvízi külön füzet.

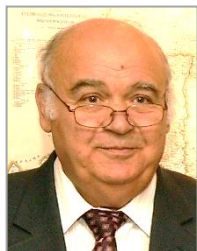
Szlávik L. (2014). Szembenézünk az árvizekkel. (A 2013. évi árvizek és belvizek krónikája.) OVF, Budapest.

Szlávik L. (2020a). 50 éve volt a Tisza-Szamos közti árvízkatasztrófa. *Hidrológiai Közöny* 100. évf. 1. szám. pp. 20-29.

Szlávik L. (2020b). Az 1970. évi Tisza-völgyi árvíz. *Vízügyi Közlemények* 2020. évi 2. szám.

Váradi J., Varga M., Szlávik L. (2003). Az árvízvédelem országos irányítása 2001 márciusában. *Vízügyi Közlemények* 2001. évi árvízi külön füzet.

## A SZERZŐ



**SZLÁVIK LAJOS** okleveles mérnök-hidrológus, építőmérnök (1970), vízkészlet-gazdálkodási és hidrológiai szakmérnök (1978). 1982-ben egyetemi doktori fokozatot, 1997-ben PhD fokozatot szerzett. Európa-mérnök (1999). 1970-1991. között vízügyi igazgatóságoknál, majd 2004-ig az OVF-ben, a VITUKI-ban és KvVM-ben dolgozott vezető beosztásokban. 27 éven át, 1993-tól 2000-ig tanított Baján főiskolai docensként, főiskolai tanárként. 2013-ban Professor Emeritus címet kapott. 2017-től a Nemzeti Közszolgálati Egyetem egyetemi magántanára. 2014-től az OVF Vízügyi Tudományos Tanács tagja. 2016-tól a Magyar Mérnöki Kamara tiszteletbeli tagja. Fontosabb kitüntetései: Magyar Köztársaság Lovagkeresztje (2008), Vásárhelyi Pál-Díj (2010), Reitter Ferenc-Díj (2017), Magyar Érdemrend Tisztikeresztje (2019). Mintegy 300 publikációt jegyez (részben társszerzőkkel), amelyből 25 könyv, illetve könyvrészlet, könyvfejezet a hidrológia, árvízvédelem, vízgazdálkodás, vízügytörténet témaköreiből. Négyyszer kapta meg az MHT Vitális Sándor szakirodalmi dívját. 1970 óta tagja az MHT-nak. Két ciklusban az MHT alelnöke (1996–2003), majd főtákar (2007–2011), 2011-től a Társaság elnöke. MHT kitüntetései: Pro Aqua emlékérem (1977), Schafarzik Ferenc-díj (1992), Bogdánfy Ödön-díj (1999). Kutatási területei: műszaki hidrológia; magyarországi folyók árvizeinek kialakulása, hidrológiája; az árvizek elleni védekezés módszerei, technológiái; ármentesítés, árvízvédelem; a síkvidéki árvízirtás alkalmazása; az árvízszintek emelkedésének okai; vízkárelhárítási védekezés-irányítás informatikai módszerei; a hazai árvízvédekezés, árvízvédelem története; vízkészlet-gazdálkodás; vízügytörténet.

## A hidraulikus talajtörés globális és lokális feltételei

Garai József

Debreceni Egyetem Építőmérnöki Tanszék, (E-mail: jozsef.garai@fiu.edu; garai.jozsef@eng.unideb.hu)

### Kivonat

Függőleges vízáramlás esetén hidraulikus talajtörés akkor következik be, ha a talajra ható víznyomás nagyobb, mint a talaj súlya. Ez az elméletileg jól megalapozottnak tűnő méretezési eljárás a gyakorlati tapasztalatokkal nincs összhangban. Buzgárok a talaj önsúlyának 10-50%-t kitevő víznyomások mellett is kialakulnak. Az ellentmondás abból adódik, hogy az egyensúlyi feltétel kielégítése globálisan vizsgált, viszont buzgárok kialakulásánál a talajtörés lokálisan következik be. Egyetlen gömb alakú szemcse egyensúlyát vizsgálva, a lokális talajtörés feltételei a jól ismert Stokes és Darcy féle összefüggések felhasználásával egyszerűen megadhatók. Hidraulikus talajtörések vizsgálatakor mind a globális, mind a lokális egyensúlyi feltételeket ki kell elégíteni.

### Kulcsszavak

Buzgár, buzgár kialakulása, hidraulikus talajtörés, lokális, globális egyensúlyi feltétel.

## Global and local criteria for hydraulic heave

### Abstract

In a vertical upward flow hydraulic heave occurs when the seepage pressure of the water exceeds the buoyant weight of the soil. Eventhough this condition theoretically seems well founded, contradicts with experiments. Sand boiling can occur if the seepage pressure is only 10-50 % of the buoyant weight of the soil. The discrepancy arises from the improperly chosen global equilibrium condition because in sand boiling the hydraulic failure occurs locally. Assuming spherical shape for the grains, the equilibrium conditions of a single grain can be derived from Stokes and Darcys laws. In order to avoid sand boiling both global and local equilibrium conditions should be satisfied.

### Keywords

Sand boiling, hydraulic heave, local and global equilibrium conditions.

### BEVEZETÉS

A buzgár függőleges vízáramlás hatására bekövetkező hidraulikus talajtörés. Az egyensúly feltétele elméletileg igen egyszerű. A talaj súlyának nagyobbnak kell lennie, mint a talajra ható víznyomás (pl. *Powrie 2014*). Gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy buzgárok a talaj súlyánál jóval kisebb víznyomások (0,1-0,5) mellett is kialakulhatnak (*Daniel 1985, Turnbull és Mansur 1961, U.S. Army 1956, USACE 2005, Jantzer és Knutsson 2010, Nagy és Huszák 2012, Pratama és társai 2020*). A mérnöki gyakorlat ezt azzal ellensúlyozza, hogy jóval magasabb biztonsági tényező értéket (4-5) kíván meg a buzgárok kialakulásának megelőzésére (pl. *Harr 1962, Taylor 1948*). Hogyan lehetséges az, hogy az elméletileg hibátlan egyensúlyi feltételt a gyakorlatban kialakuló buzgárok nem elégítik ki? Erre a kérdésre keresi a választ a tanulmány.

### HIDRAULIKUS TALAJTÖRÉS VIZSGÁLATÁNAK JELENLEGI GYAKORLATA

Valamennyi előírás azt követeli meg, hogy a talaj súlyának nagyobbnak kell lennie, mint az áramlási nyomás. Ez a feltétel három különböző módon (a-c) vizsgálható.

*Terzaghi (1922)* nagymodell kísérletei azt mutatták, hogy egy szádfallal határolt munkagödör esetén a talaj hidraulikus talajtörése a szádfal levett mélységének kb. a fele távolságáig következik be (*1. ábra*). Ennek a talajtömegnek az egyensúlyi feltétele függőleges vízáramlás esetén a következőképpen adható meg:

$$F_S = \frac{W'}{U} \quad (1)$$

ahol  $W'$  a talaj vízalatti súlya,  $U$  a szivárgási áramkép alapján meghatározható dinamikus víznyomás eredője,  $F_S$  pedig a biztonsági tényező (factor of safety). Terzaghi kísérletei alapján a vízalatti talaj súlya:

$$W' = \frac{1}{2} \gamma' D^2 \quad (2)$$

ahol  $\gamma'$  a talaj vízalatti térfogatsúlya,  $D$  pedig a szádfal leverési mélysége. A hidraulikus nyomás eredője a következő összefüggés alapján határozható meg:

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w D h_a \quad (3)$$

ahol  $\gamma_w$  a víz térfogatsúlya,  $h_a$  pedig a hidraulikus nyomómagasság átlagértéke a vizsgált talajtérfogat alján. Terzaghi nagymodell kísérletei a fenti egyensúlyi feltételekkel (1-3 egyenletek) jó egyezést mutattak (*Terzaghi és Peck 1948*). A jelenlegi előírások (*EC-7 2013*) nem határolják le a vizsgálandó térfogatot és az egyensúlyi feltétel kielégítését bármilyen talajtérfogat esetére megkövetelik.

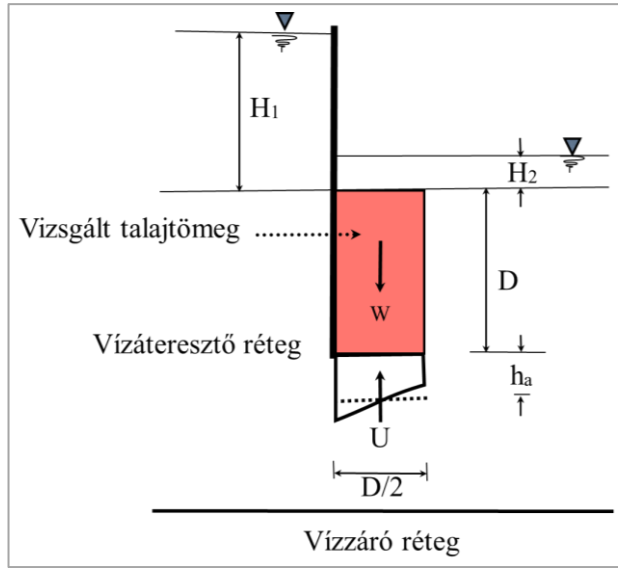
$$S_{dst;d} \leq G_{stb;d} \quad (4)$$

ahol  $S_{dst;d}$  a talajtörést előidéző víznyomás eredő erejének tervezési értéke,  $G_{stb;d}$  pedig a vizsgálat stabilizáló talajtömeg vízalatti súlyának tervezési értéke.

Az *Eurocode 7 (2013)* az egyensúly teljesülésének igazolását a következő feltétel kielégítésével is lehetővé teszi:

$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \quad (5)$$

ahol  $u_{dst;d}$  a destabilizáló semleges feszültség tervezési értéke,  $\sigma_{stb;d}$  pedig a stabilizáló teljes talajfeszültség tervezési értéke ugyanabban a mélységben (2. ábra).

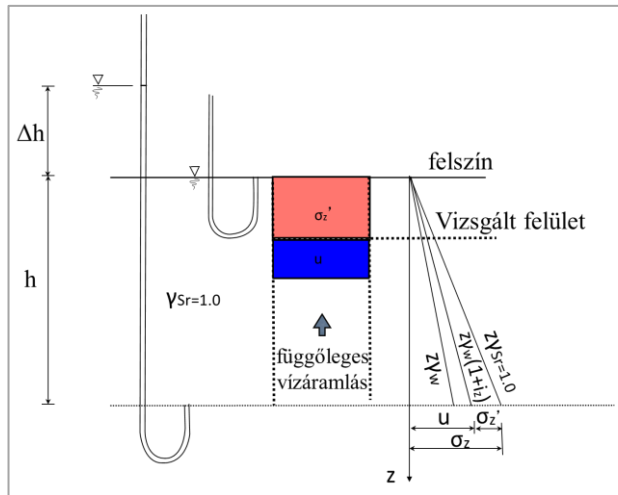


1. ábra. Hidraulikus talajtörés vizsgálata egy adott térfogat figyelembevételével

(Megjegyzés: A választott térfogat több millió szemcsét tartalmazhat, ezért az egyensúly vizsgálata globális.)

Figure 1. Hydraulic heave equilibrium criterion defined in a given volume

(Note: The volume can contain many millions of grains, therefore the equilibrium conditions are investigated globally.)



2. ábra. Hidraulikus talajtörés vizsgálata egy adott vízszintes felületen

(Megjegyzés: A választott egységnyi felület feletti talaj globális egyensúlyát vizsgálja adott mélységben.)

Figure 2. Hydraulic heave criterion defined on a horizontal surface (Note: The equilibrium conditions are applied to a volume above a unit area at a given depth.)

Az előírás alapja az, hogy hatékony feszültségnek ( $\sigma'_z$ ) léteznie kell a szilárd szemcsék között

$$0 \leq \sigma'_{z;stb;d} \quad \text{mert} \quad \sigma'_z = \sigma_z - u \quad (6)$$

mert ha nincs hatékony feszültség, akkor a szilárd szemcsék elveszítik stabilitásukat.

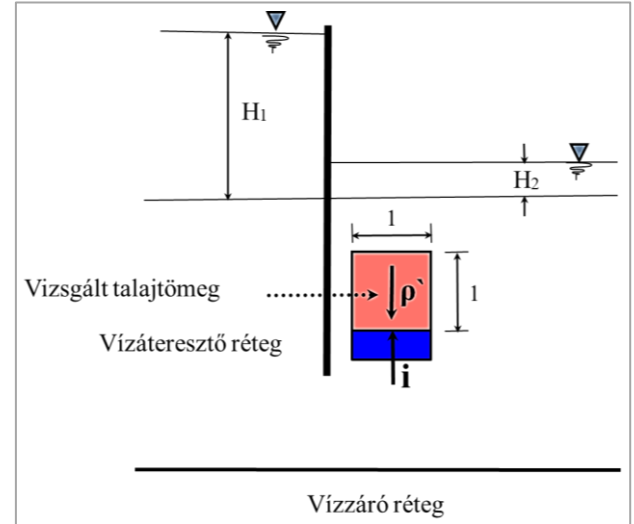
Korábbi, de a mérnöki gyakorlatban ma is általánosan használt egyensúlyi feltétel (Kabai 2005) (3. ábra) azt kí-

vánja meg, hogy a talajban kialakuló hidraulikus gradiens ( $i_z$ ) értéke bármilyen mélységben legyen kisebb a kritikus értéknél ( $i_{z,c;d}$ )

$$i_z < i_{z,c;d} \quad (7)$$

ahol

$$i_{z,c;d} = \frac{1}{F_s} \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{1}{F_s} (1 - n) \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \quad (8)$$

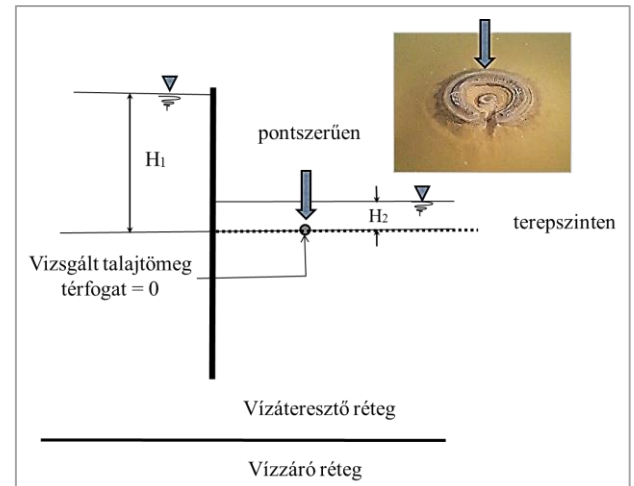


3. ábra. Hidraulikus talajtörés és globális vizsgálata egységnyi térfogat figyelembevételével

Figure 3. Investigating the global hydraulic heave conditions in a unit volume

A különbség a három egyensúlyi feltétel között az, hogy az egyensúlyi feltételek teljesülését (a) bármilyen térfogatban, (b) egy adott vízszintes felület mentén, míg (c) egy egységnyi térfogatban kell igazolni.

Buzgárok a talaj felszínén pontszerűen alakulnak ki (4. ábra) (Nagy 2014).



4. ábra. A talaj felszínén pontszerűen kialakuló buzgár esetében a hidraulikus talajtörés egy talajszemcse kimosódásával kezdődik (Note: The equilibrium conditions are applied to a volume above a unit area at a given depth.)

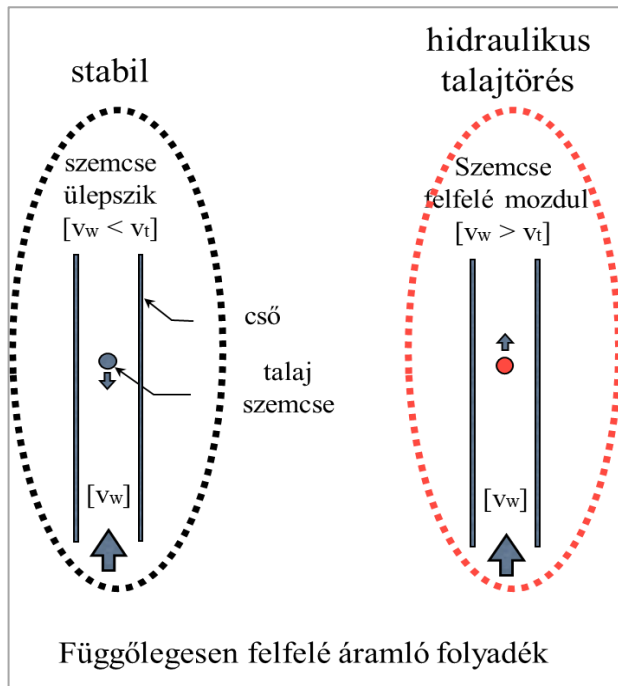
Az egyensúlyi vizsgálatba bevonható talajtömeg praktikusán zéró. Mivel a jelenlegi előírások globális egyensúly meglétét kívánják meg, ezen előírások egyike sem al-



kalmas a felszínen, pontszerűen kialakuló hidraulikus talajtörés vizsgálatára, amely lokálisan következik be. A felszínen, pontszerűen kialakuló hidraulikus talajtörés egyetlen talajszemcse egyensúlyi vizsgálatára vezethető vissza, melynek eredménye nem feltétlenül azonos a globális egyensúlyi vizsgálattal.

### EGYETLEN TALAJSZEMCSE EGYENSÚLYI VIZSGÁLATA

A talaj felszínén ( $z = 0$  m.), elhelyezkedő talajszemcsére oldal irányú erő nem hat, ezért súrlódási ellenállás sem alakul ki. Egy ilyen, független talajszemcse, függőlegesen felfelé áramló vízben addig marad egyensúlyban, ameddig az ülepedési sebessége ( $v_t$ ) nagyobb, mint a víz áramlási sebessége ( $v_w$ ) (5. ábra).



5. ábra. Talajszemcse egyensúlyi feltétele kohézió nélküli szemcsés talajban függőleges vízáramlás esetén. Stabil (a) és kimosódást eredményező (b) feltételek

Figure 5. The equilibrium conditions of a grain on the surface of granular soil in an upward flow. Stable (a), and unstable (b) conditions

A szemcse egyensúlyának feltétele tehát:

$$v_t - v_w > 0 \quad (9)$$

Gömb alakú szemcsét feltételezve az ülepedési sebesség Stokes törvénye alapján számítható:

$$v_t = \frac{(\rho_s - \rho_w)g}{18\mu} d^2, \quad (10)$$

ahol  $\rho_s$  a szemcse anyagsűrűsége,  $\rho_w$  a víz sűrűsége,  $g$  nehézségi gyorsulás,  $\mu$  dinamikus viszkozitás,  $d$  pedig a szemcse átmérője. Ha a cső mérete, amiben a szemcse ülepszik, szűk, akkor a fal és a szemcse közötti kölcsönhatás miatt az ülepedési sebesség körülbelül a felére csökken (Cistin 1966). Ennek figyelembevételével a talajfelszínen elhelyezkedő szemcse ülepedési sebessége:

$$v_t = \frac{(\rho_s - \rho_w)g}{36\mu} d^2. \quad (11)$$

A talaj hézagában áramló víz sebessége ( $v_w$ ) a Darcy féle átfolyási sebességből ( $v_D$ ) határozható meg:

$$v_w = \frac{v_D}{n} = v_D \frac{1+e}{e} \quad (12)$$

ahol  $n$  a talaj hézagterfoglata,  $e$  pedig a hézagtérfogató értéke. A Darcy féle átfolyási sebesség (Darcy 1856) egyenesen arányos a hidraulikus gradiens értékével

$$v_{D,\beta} = k_\beta i_\beta. \quad (13)$$

A konstans ( $k$ ) érték a talaj vízáteresztőképességi együtthatója. A  $\beta$  index a vízfolyás irányát ( $x, y, z$ ) jelzi. Behelyettesítve az ülepedési sebességet (11. egyenlet) és a talajban függőlegesen áramló vízsebességet (12. egyenlet) az egyensúlyi egyenletbe (9) egy a talaj felszínén elhelyezkedő szemcse stabilitásának feltétele a következőképpen adható meg:

$$\frac{(\rho_s - \rho_w)g}{36\mu} d^2 > \frac{v_{D,z}}{n} = \frac{k_z i_z}{n}. \quad (14)$$

Állandó hőmérséklet mellett a víz sűrűsége és viszkozitása nem változik, ezért az előző egyenlet egyszerűsíthető:

$$cd^2 > \frac{k_z i_z}{n} \quad (15)$$

ahol a konstans:

$$c = \frac{(\rho_s - \rho_w)g}{36\mu}. \quad (16)$$

### A HIDRAULIKUS TALAJTÖRÉS ÁLTALÁNOS KRITÉRIUMA

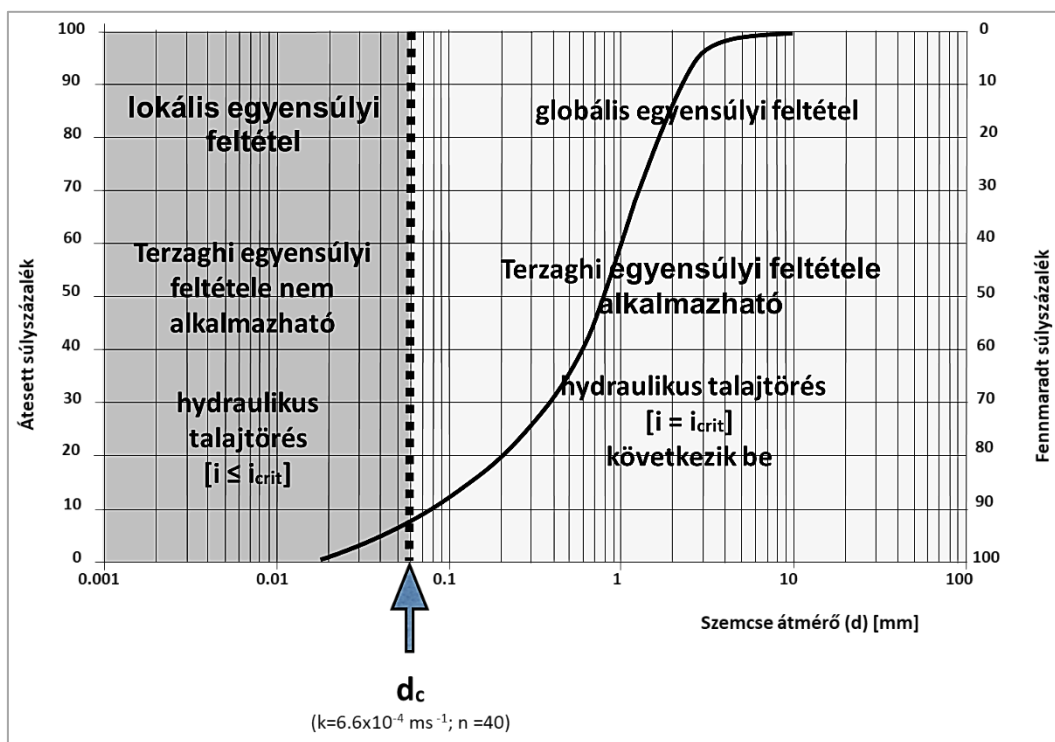
A hidraulikus talajtörés elkerülése megkívánja, hogy mind a globális, mind a lokális egyensúlyi feltételeket kielégítsük (Garai 2016). A globális egyensúlyi követelmény a hidraulikus gradiens értékével megadható. A lokális egyensúly, a hidraulikus gradiens és a szemcseméret függvényében írható elő. A két feltétel összevonásával a talajban megengedhető hidraulikus gradiens értéke a következőképpen adható meg:

$$\left[ \frac{n(\rho_s - \rho_w)g}{36\mu k_z} d^2; i_c \right]_{\min} > i_{z,talaj} \quad (17)$$

Bevezetve a kritikus átmérő ( $d_c$ ) fogalmát, mely azt a szemcseméretet jelenti, amely egyensúlyát a kritikus hidraulikus gradiens értékénél veszíti el

$$d_c = \sqrt{\frac{1}{c} \frac{k_z}{n} i_{z,c}}, \quad (18)$$

Ez a szemcseméret egy lokális és egy globális egyensúlyi feltételekkel leírható tartományra bontja a talaj szemeloszlási görbét (6. ábra). A kritikus átmérőnél nagyobb szemcsékre a globális egyensúlyi feltételek érvényesek, míg a kisebb méretű szemcsékre ez már nem teljesül. A kritikusnál nagyobb átmérőjű szemcsék egyensúlyukat a kritikus hidraulikus gradiens értékének kialakulásakor veszítik el, tehát ezekre a szemcsékre a globális egyensúlyi feltételek érvényesek. A kritikus átmérőnél kisebb szemcsék egyensúlyukat a kritikus hidraulikus gradiens értékénél kisebb gradiens érték mellett is elvesztik. Terzaghi szádfalas nagymodell kísérleteit, melyek a globális egyensúlyi feltételekkel egyező eredményt adtak, valószínűleg olyan homoktalajban végezte, melynek szemcséi a kritikus átmérőnél nagyobbak voltak.



6. ábra. Globális és lokális egyensúlyi feltételek alkalmazhatósága a szemcseméret függvényében (Megjegyzés: A kritikus átmérőjű ( $d_c$ ) talajszemcse egyesülést a kritikus hidraulikus gradiens értékénél veszíti el.)  
 Figure 6. The validity of the global and the local equilibrium conditions as a function of grains size is shown (Note: The grain with critical diameter ( $d_c$ ) loses its equilibrium at the critical hydraulic gradient.)

## ÖSSZEFOGLALÁS

Jelenlegi hidraulikus talajtörésre vonatkozó előírásaink globális egyensúly meglétét követelik meg, ami nem zárja ki a lokális talajtörés kialakulását. A buzgár a felszínen elhelyezkedő talajszemcse egyensúlyvesztésével alakul ki. Az egyensúlyi feltételek egyszerűsítő feltételezések mellett jól számíthatók. A levezetett lokális egyensúlyi feltétellel, a hidraulikus talajtörés létrejöttét a szemcse átmérő és a hidraulikus gradiens függvényében adja meg. A kritikus szemcseátmérő, mely egyensúlyát a kritikus hidraulikus gradiens kialakulásakor veszíti el, kiszámítható. A kritikus méretnél nagyobb szemcsékre a globális egyensúlyi feltételei érvényesek, míg kisebb szemcsék esetén a lokális egyensúlyi feltételeket kell alkalmazni.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm Zsebők Lajosnak a kézirat átolvasását és hasznos javaslatait.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Cistin, J.* (1966). A Contribution to the Problem of Inner Suffusion of Non-cohesive Layers (Hungarian). Lecture in the Hungarian Hydrological Society. In: *Kovacs G* (1981). *Seepage Hydraulics* (Development in Water Science 10), Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Daniel, D. E.* (1985). Review of Piezometric Data for Various Ranges in the Rock Island District. USACE Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Darcy, H.* (1856). Les fontaines publiques de la Ville de Dijon, Dalmont, Paris.
- Eurocode 7* (2013). Geotechnical Design, Worked Examples. Ed. by Dimova S, Nikolova B, Pinto AV, Joint

Research Center, JRC 85029, EUR 26227 EN, Publication Office of the European Union.

*Garai, J.* (2016). Hydraulic failure by heave and piping Scour and Erosion. Harris, Whitehouse & Moxon (Eds), Taylor and Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02979-8, *Int. Conf. on Scour and Erosion (ICSE-8)*, Oxford, UK, pp. 427-432.

*Harr, M. E.* (1962). *Groundwater and seepage*. McGraw-Hill, New York City.

*Jantzer, I., S. Knutsson, S.* (2010). Critical gradients for tailings dam design. *International Seminar on the Reduction of Risk in the Management of Tailings and Mine Waste: 29/09/2010 - 01/10/2010*, Nedlands, Western Australia: Australian Centre for Geomechanics, 23-32 p.

*Kabai I.* (2005). *Geotechnika I.* Műegyetemi Kiadó, 158. old.

*Nagy L.* (2014). *Buzgárok az árvízvédelemben*. Országos Vízügyi Főigazgatóság.

*Nagy, L., T. Huszák* (2012). Investigation of piping material. *Periodica Polytechnica, Civil Engineering* 56 233-238.

*Powrie, W.* (2014). *Soil Mechanics Concepts and Applications*. Third Edition, CRC Press, Boca Raton, USA.

*Pratama, I.T., C-Y Ou, J. Ching* (2020). Calibration of reliability-based safety factors for sand boiling in excavations. *Canadian Geotechnical Journal* 57, 742-753.

*Taylor, D. W.* (1948). *Fundamental of soil mechanics*. Wiley, Hoboken.

Terzaghi, K. (1922). Der Grundbruch an Stauwerken und seine Verhütung (The failure of dams by piping and its prevention). Die Wasserkraft, vol 17, pp 445–449. Reprinted in 1960 *From theory to practice in soil mechanics*. Wiley, New York.

Terzaghi, K., R.B. Peck (1948). *Soil mechanics in engineering practice*. New York, Wiley.

Turnbull, W. J., C.I. Mansur (1961). Construction and

maintenance of control measures. *Transactions, American Society of Civil Engineers* 126, 1540-1568.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2005). *Design guidance for levee under seepage*. Tech. Lett. No. 1110-2-569, Washington, DC.

U.S. Army Waterways Experimentation Station (1956). Investigation of under seepage and its control, lower Mississippi River levees. *Tech. Memo*. No. TM-3-424, Vicksburg, MS.

## A SZERZŐ



**GARAI JÓZSEF** építőmérnöki diplomáját 1984-ben szerezte a BME-n, majd föld és űrtudományokból MSc diplomát szerzett (State University of New York). Szakmai pályafutása a KÖVIZIG-nél kezdődött, majd talajmechanikus tervező az FTV Geotechnikai, Geodéziai és Környezetvédelmi Zrt-nél. Ezt követően tanársegéd az Ybl Miklós Főiskolán, majd az Egyesült Államokban eltöltött több mint húsz év alatt gyémántok optikai vizsgálatával, az olvadás fizikai folyamatával, és nagynyomású kísérletekkel foglalkozott. Visszatérve Magyarországra, a Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Karán a Mechanika és Tartószerkezetek Tanszékét vezette. Jelenleg egyetemi tanár a Debreceni Egyetem Műszaki Karán, az Építőmérnöki Tanszéken.



## A Bükk hegység karsztvízkészleteinek feltárása és hasznosítása

Miklós Rita\*, Lénárt László\*, Darabos Enikő\*, Kovács Attila\*, Czesznak László\*\*, Pelczéder Ágnes\*\*\*, Szűcs Péter\*\*\*\*

\* Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros ([hgmr@uni-miskolc.hu](mailto:hgmr@uni-miskolc.hu))

\*\* Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, Vízügyi és Vízügytö-gazdálkodási Osztály, 8000 Székesfehérvár, Balatoni út 6.

\*\*\* PANNERGY NyRt., 1117 Budapest, Budafoki út 56.

\*\*\*\* MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, 3515 Miskolc-Egyetemváros

### Kivonat

A cikk átfogó összefoglalása és áttekintése az elmúlt 20-30 év Bükki karszttal kapcsolatos kutatások fő eredményeinek, ezen új információk szintetizált formájú bemutatása, melyek mind azt segítették elő, hogy a hegységről, a hideg és termálkarsztról rendelkezésre álló információk folyamatosan bővüljenek. Mind tudományos, mind vízgazdálkodási, üzemeltetési oldalról megközelítve összegzésre kerültek a tapasztalatok, az adatok és az eredmények. A főként vízföldtani szempontú ismertetés mellett bemutatásra kerül a hegységben közel 30 éve működő Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR). Külön fejezetet szenteltünk annak a részletezésére, hogy a terepi munka és egy monitoring rendszer üzemeltetése során milyen kihívásokat kell hatékonyan megoldani. Összefoglalva jelenik meg a hegységben és vonzáskörzetében a karsztvíz-felhasználás 1993 óta és kiemelten bemutatásra kerül egy nemzetközi szinten is ismert geotermikus rendszer, valamint annak monitoring tevékenysége és hatásai a karsztrendszerre. Áttekintést nyújt a BKÉR adatokon alapuló, változatos irányú kutatásokról, fő eredményeikről, valamint bemutatásra kerül egy új típusú vízkészlet-számítási módszer, valamint kutak, források hidrográf elemzési eredményei is, amelyek mind segíthetik a fenn tartható hasznosítást a Bükk hegységben.

### Kulcsszavak

Karszt, karsztvízkészlet, karsztvíz felhasználás, Bükk, monitoring.

## Exploration and utilization of the karst water resources in the Bükk Mountains, Hungary

### Abstract

Karst water resources of the Bükk Mountains are considered to have a great importance in the northeast of Hungary, as they serve excellent quality drinking water and thermal karst water. Although there is much geological and hydrogeological information of the Mountains and their surrounding available, until this time such a comprehensive study of the new scientific research result of the last decades in this area has not yet been described. Not only general hydrogeological set-up is introduced but a standalone operating karst water level monitoring system, the various type of the use of its measured data, most important scientific results, the karst water utilization in and in the surrounding of the Mountains are all included in the study. Karst water resources are covering the drinking water demand of Miskolc, Eger and numerous settlements of the area. Besides, thermal karst water aquifers have even greater importance as the thermal karst water utilization both for balneological and energetic purposes has been constantly increasing. In describing the complex regional hydrogeology of the Bükk Mountains Karst Water Level Monitoring System, its 28-year-long datasets and their complex evaluation have crucial importance. The constantly improved monitoring system serves basis for several scientific researches like developing an innovative water budget calculation method or examining the effects of extreme weather conditions on the karst water resources. Nowadays our complex hydrogeological knowledge allows planning and implementing sustainable water management in the region. The operating geothermal heating plant based on the thermal karst water resources of the Mountains is a standalone success story, with its total capacity of 60 MW<sub>t</sub> it is the greatest geothermal heating plant in Central Europe. During its operation all amount of the exploited karst water is re-injected into the karst system.

### Keywords

Karst, karst water resources, karst water utilization, Bükk, Hungary, monitoring.

### BEVEZETÉS, ELŐZMÉNYEK

A bükki karszt kutatása már évtizedek óta foglalkoztatja a kutatókat, hidrogeológusokat. A bővizű egri és kácsi forrásokról már Bél Mátyás is megemlékezett 1730-35 közötti, publikálásra előkészített kéziratában (*Bán 2001*). 1762-ben Mária Terézia elrendelte, hogy a megyei tisztifőorvosok írják le a megyéjükben található ásvány- és gyógyvíz forrásokat. Heves Megyében Markhót Ferenc végezte el ezt a munkát 1764-ben, melynek egy kéziratot példánya az egri megyei levéltárban megtalálható. Borsod megye hasonló feldolgozását Dombi Sámuel végezte, munkája 1766-ban nyomtatásban is megjelent. Az egri forrásokra alapozott fürdők tulajdonjogáért az egyház és a város sokat küzdött az 1900-as évek elején. Pazár István

1906-ban új, városi fürdő létrehozásának lehetőségét hidrogeológiailag lehetségesnek tartotta, az általa is javasolt kutat Schréter Zoltán fűrtte le 1925-ben. Az egri fürdők vízellátására az 1960-as években bevezették az andornaktályai meddő szénhidrogénkutató fúrások vizét. 1927-29 között Pávai Vajna Ferenc lillafüredi termálvíz-kutató fúrása sikertelen lett. A szénhidrogénre meddő kutakra (1938 Mezőkövesd, 1959 Bogács, 1964 Egerszalók) létesített fürdők továbbfejlesztésére a mai napig jelentős számú termálkarsztkút létesült a Bükk előterében. A Szalajka-völgyi forrásfoglalások 1954-ben kezdődtek, a kácsi forrásfoglalások időpontja 1972. Eger-Almáron 1972-ben létesítettek karsztkutakat, Sályon 1974-ben történt forrás-foglalás. A Miskolci Vízművek kialakításának geológiai-

hidrogeológiai előmunkálatai 1884-ben kezdődtek. Több nem karsztos vízbeszerzés lehetőségét elvetették a kutatások alapján, s végül 1906-ban döntöttek a miskolctapolcai Hejő-források foglalásáról (Lénárt 2002). A 1950-es évektől Miskolc városának jelentősen megnőtt a vízigénye, melyet a lakosságszám növekedése és az intenzív ipari fejlesztések generáltak. Megkezdődött a nagy miskolci források foglalása (például Anna-barlang forrásai 1951-1955 között, Szinva-forrás feltárási munkálatai 1961-ben megkezdődtek, és néhány éven belül megtörtént a tényleges forrásfoglalás) és ivóvízhálózatba történő vezetése (Teslér és Piukovics 1963). Az ötvenes évek elejétől a hetvenes évek közepéig a VITUKI és Kessler Hubert munkájának köszönhetően az országos forrásvizsgálat keretében a bükkői források rendszeres vízhozam mérése történt, mely adatok megtalálhatóak a korabeli vízrajzi évkönyvekben. Az 1980-as években aszályos, rendkívül csapadékszegény évek hatására jelentős vízhiány mutatkozott, melynek következtében Stéfán Márton szakmai irányításával megkezdődött a Bükk vízkészleteinek pontosabb felmérése. Ennek első lépéseként Böcker Tivadar vezetésével a nyolcvanas évek elején öt darab karsztvízszint megfigyelő kutatást mélyítették a hegységben (Nv-17 (eredetileg Nv-8), Tbp-1, M-6, Bk-1, K-16). Az első, Miskolc vízellátását szolgáló védőidom határozatát 1987-ben adta ki a vízügyi hatóság. A monitoring rendszer részei, felépítése Juhász 1989-es munkájában került megfogalmazásra, erőteljesen támaszkodva Böcker Tivadar korábbi munkásságára, eredményeire, majd ezek alapján került életre hívásra a Bükk Karsztvízszint Észlelő Rendszer. A rendszer azóta jelentősen kibővült, és a rendkívül hosszú és részletes adatsorok kiváló alapot biztosítanak számtalan kutatás, projekt alapjának.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### A Bükk hegység földtani és vízföldtani viszonyai

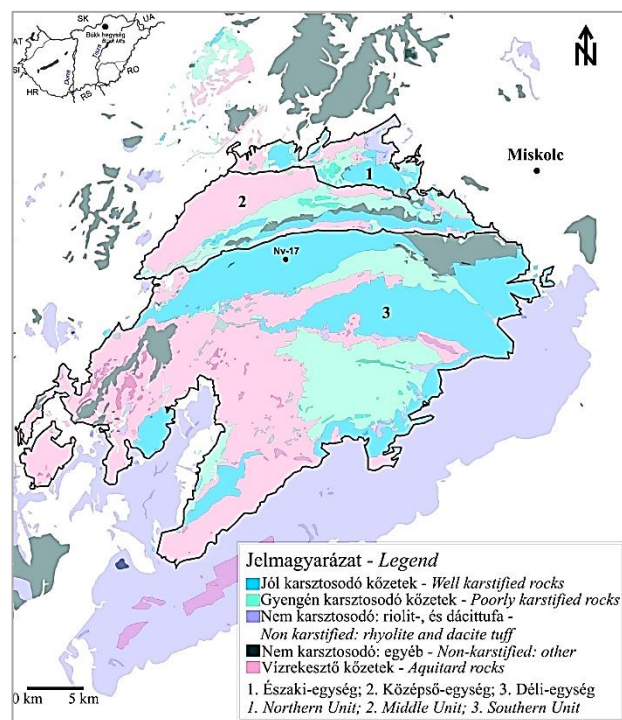
A Bükk hegység Magyarország északkeleti régiójában helyezkedik el. Az ország második legmagasabb hegysége, legmagasabb csúcsai 900 m-es tengerszint feletti magasságban helyezkednek el. A hegység fő tömegét karsztos összletek építik fel. A vékony talajtakaróval és növényzettel borított nyílt karsztos terület körülbelül 207 km<sup>2</sup>-t ölel fel, és a hozzá tartozó vízgyűjtő terület nagysága 230 km<sup>2</sup> (OVF 2015). A Bükk-térséghez köthető termálkarszt felszín alatti kiterjedését 1 000 km<sup>2</sup>-re becsüljük a 4 286 km<sup>2</sup> nagyságú Bükk Termálkarsztos Víztesten belül, de a vízföldtani határai pontos geofizikai mérések, adatsorok hiányában nem határozhatóak le egyértelműen.

Legegységesebb kistája a Bükk-fennsík, melyet a Garadna-völgy oszt két részre, Kis-fennsíkra és Nagy-fennsíkra (Dóvényi 2010). A hegység e része jól karsztosodott mészkő formációkból épül fel, a területen számtalan karsztos felszínforma megjelenik (pl. töbrök, víznyelők), valamint jellemzőek a nagyméretű, jól fejlett barlangrendszer is (Less és társai 2005).

A Bükk erősen gyűrt szerkezetű, a korai kutatási eredmények alapján a legidősebb képződményei a felső

karbonba tartoznak (Schréter 1954). A hegység fő tömegét triász korú karsztos összletek építik fel, melynek összvastagságát mintegy 3500 méterre teszik (Balogh 1964), bár a fedett földtani térképet tekintve az látható, hogy a karbonátos formációk jó része nem karsztos rétegsorokkal fedett. A hegység kifejlődése a Belső Dinári Zónával mutat rokonságot, végső helyét a tektonikai mozgások révén csak a késő kainozoikumban foglalta el (Filipović és társai 2003). A hegységet felépítő kőzetek alapvetően két nagy sorozatba különíthetőek, egyik kontinentális kérgen képződött, középső karbon-perm-triász-jura korú összletek, melyek az ún. Bükk Autochtont építik fel. A másodikat az óceáni kérgen képződött, jura korú összletek alkotják, melyet Szarvaskői-Darnó takaróként ismerünk. A hegységet főként jól, valamint kiválóan karsztosodott, platform kifejlődésű triász korú mészkövek, valamint kevésbé, vagy kis mértékben karsztosodó mészkő, márga rétegek építik fel, agyagos közbetelepülésekkel. Jura palák és kréta vulkanitok (diabáz, gabbró, metabazalt) a hegység nyugati, délnyugati területein jelennek meg nagy felszíni kiterjedésben (Less és társai 2005, Schmidt 1962).

A hegységet alkotó formációk vízföldtani szempontú kategorizálása (Darabos 2017) során készült vízföldtani térkép az 1. ábrán látható. A jól karsztosodó kőzetek csoportját főként középső, felső triász jól, kiválóan karsztosodott platform fáciesű mészkövek alkotják (Fehérkői Mészkő Formáció, Bükkfennsíki Mészkő Formáció, Kisfennsíki Mészkő Formáció). Mind kutatási, mind víz-áramlási, tározási, ivóvízcélú vízkivételek szempontjából vizsgálva ezen összletek a legfontosabb víztartó egységek a hegységben. Gyengén karsztosodó kőzetek csoportjába tartozik a felső perm korú Nagyvisnyói Mészkő Formáció, alsó triász kifejlődésű Gerennavári Mészkő Formáció, a középső triász Hámori Dolomit Formáció, felső triász Felsőtárkányi Mészkő Formáció, és a jura korú Bükkzsérci Mészkő Formáció, melyek szintén nagy tömegben jelennek meg a hegységet felépítő kőzetek sorában. A vízrekesztő kőzetek kategóriájába tartozik a karbon korú Szilvásváradai Formáció, perm Szentléleki Formáció és jura korú Lökvolgyi, Vaskapu és Rocskavölgyi Formációk. Továbbá ide kerültek besorolásra a szintén jura korú radiolaritok, mint a Bányahegy Radiolarit, és Csipkéstetői Radiolarit Formáció, és a triász-jura kifejlődésű metamagmatitok is (Szentistvánhegyi Metaandezit, Bagolyhegyi Metariolit, Szinvai Metabazalt, Létrási Metabazalt, Szarvaskői Bazalt és Tardosi Gabbró Formációk). A hegységet alkotó alacsony vízvezető képességű összletek, palák helyenként kisebb-nagyobb vastagságban tartalmaznak karbonát-tartalmú közbetelepült rétegeket, melyek tározhatnak ugyan karsztvizet, de jelentéktelen mennyiségben (például Zobóhegyesi, Mályinkai, Ablakoskövölgyi, Vesszősi, Oldalvölgyi vagy Mónosbéli Formáció). A nem karsztosodó vulkáni eredetű rétegsorok (riolit-, és dácittufa) főként a hegységelőtéri területeken találhatóak nagy kiterjedésű felszíni előfordulásokban (1. ábra) (Kovács 2003, Less és társai 2005).



1. ábra. A Bükk hegység és közvetlen környezetének vízföldtani kategória térképe (Darabos 2017 nyomán), és fő vízföldtani egységei (1, 2, 3) (Less és társai 2005 nyomán)

Figure 1. Hydrogeological category map (Darabos 2017) and the main hydrogeological units (1, 2, 3) of the Bükk Mountains and their close surrounding (adapted from Less et al. 2005)

Vízföldtani szempontból semmiképp sem felejtendő el az eocén korú Szépvölgyi mészkő sem, mely kitűnően karsztosodott, nagyon jó vízvezető és vízadó képességű formáció. A bükkaljai területeken vastag üledékekkel fedve, nagy mélységben eltemetve található meg (Less és társai 2005), és a balneológiai célú termálkarsztvizek egyik fő vízadója.

A hegység hidrogeológiáját, hidrodinamikáját egyrészt az eltérő vízföldtani tulajdonságú rétegek, közöttestek váltakozása, valamint a szerkezetére jellemző nagyléptékű gyűrődések határozzák meg. Ezek alapján három fő vízföldtani egységre osztható fel, melyek a következők (1. ábra):

1. Északi-egység, a nagy bükki antiklinális északi szárnya
2. Középső-egység, a bükki antiklinális déli szárnya
3. Déli-egység, melyet a középső triász-felső jura összletek alkotnak (Less és társai 2005).

Ezen fő egységeket jelentős tektonikai elemek határolják, ám ezen elemek hidraulikailag kapcsolód(hat)nak egymáshoz.

#### A Bükk hegység hidrológiai viszonyai

A Bükk hegység területén az átlagos éves csapadék nagymértékben függ a tengerszint feletti magasságtól, de átlagos mennyisége 650-850 mm között változik. Míg a hegyláb régiókban az alacsonyabb csapadék értékek jellemzőek, a fennsíkon jelentősen több az éves csapadék mértéke. Jávorkúton 1960-2020 közötti hidrológiai évek csapadékatlaga 841 mm.

A Bükk felszíni vízfolyásai a Tisza vízgyűjtő területéhez tartoznak. A Bükk-fennsík karsztos területein hiányoznak a felszíni vízfolyások, tekintve, hogy a csapadék beszívárog a karsztba koncentrált formában víznyelőkön és az epikarszton keresztül, illetve diffúz formában a teljes talaj- és kőzetfelszínen. A víznyelőkön, illetve az epikarsztot megcsapoló függőleges karsztjáratokon keresztül beszívárgó vizek azután a felszín alatt horizontális karsztjáratokon keresztül áramlanak, és gyors (legfeljebb néhány napos) áramlási idővel jutnak el a karsztforrásokhoz. A források és a víznyelők hidraulikai kapcsolatát már az 1950-es években is kutatták speleológiai módszerekkel is (Borbély 1955), majd a későbbiekben számos nyomjelzéses kísérlet is igazolta (Sásdi 2002). A víznyelők igen gyakran a karsztosodó és a vízzáró képződmények határán alakulnak ki. Ezek egy része elnyelődő patakok, melyek az allogén vízgyűjtő területéről érkezve nyelődik el. Másik részük a patakmedrekben elhelyezkedő állandó, vagy időszakos víznyelő. A Bükk területén nagyszámú karsztforrás található, ezek közül mintegy 65 regisztrált forrásnak jelentős, 10-40 000 l/min hozama van. A természetes források hozama egyes esetekben lecsökkent a miskolci forrásfoglalások és az Eger környéki vízkitermelő kutak beüzemelésének hatására (Izapi és Sárvary 1993).

A Bükk becsült vízgyűjtő területe 230 km<sup>2</sup>. A hosszú távú becsült beszívárgás a Bükk területére 32,4%. A karsztosodott fennsíki területen ennél valamivel több, 36% beszívárgás becsülhető (Izapi és Maucha 1992). A Bükk szabadtükrű karsztterületeit megcsapoló források vize hideg, azonban a Bükk hegyláb részén található források egy része langyos (10-25 °C), és meleg (25-31 °C) vizet adnak. Ezek a források harmadidőszak, vízzáró üledékekkel fedett, mélyáramrendszerekből származó vizeket tartalmaznak. Deák (1989) <sup>14</sup>C és <sup>3</sup>H izotópos vizsgálatai alapján ezeknek a vizeknek a kora 7 300-15 000 év közé becsülhető.

A triász korú karbonátos vízadók jelentős vízkészletet tartalmaznak. Úgy tűnik, hogy az egész bükki karbonátos vízadó hidraulikai szempontból összefüggő regionális léptékben tekintve. Mindemellett, számos – lokális vagy szub-regionális léptékű – karsztos vízgyűjtő mutatható ki ezen belül. Ezek egy része a karsztosodott zóna alatt egymással hidraulikai kapcsolatban áll, más részüket azonban kis permeabilitású kőzetek választják el egymástól (Kovács és társai 2015).

A Bükk-fennsík területén igen elterjedtek a karsztos felszínformák. A triász vízadó kőzetek elterjedése nem korlátozódik a nyílt karsztosodott zónákra, ezek a kőzetek tovább folytatódnak a medenceüledékek alatt akár több ezer méteres mélységben, valamint nyugat, dél-nyugati irányban is, a Mátra alatt. A sasbércek zónájában a mélységi vízadó kőzetek a felszínen megcsapolódnak termálforrások formájában. Ilyen jellegű vízföldtani helyzet alakult ki Egerben. A várostól délre található Andornaktálya, Demjén és Egerszalók településeken és környezetükben számos termálkút üzemel. Az egerszalóki és demjéni kutak kifolyó vizeinek hőmérséklete 59-82 °C között van, de a Mályi 1. kút víz hőmérséklete meghaladja a 100 °C fokot is.



### A Bükk Karsztvízszint Észlelő Rendszer

A Bükk Karsztvízszint Észlelő Rendszer 1992-ben – Stéfán Márton vízügyi igazgatósági főmérnök kezdeményezésére – azért indult, mert az 1980-as évek legelejétől folyamatos volt a csapadékhiány, melynek hatását ő forrásokban, kutakban és barlangokban javasolta vizsgálni.

A barlangok kétféleképpen segíthetnek a horizontális karsztvízmozgás és a vertikálisan mozgó karsztvízszint megállapításában. Elsősorban a függőleges kiterjedésével, amikor még az üregek akkora méretűek, ami ember által bejárható, lehetővé téve ezzel a speleológiai kutatásokat. Egy barlangi végpont lehet száraz, vagy vízzel elárasztott. Első esetben az biztos, hogy az aktuális karsztvízszint felett tartózkodunk. A második esetben pedig az aktuális vízszint egy pillanatnyi karsztvízszintet jelölhet (figyelembe véve a lokális földtani, vízföldtani adottságokat is). Továbbá, a bükk nagy patakos barlangokban található vízszintek mindig egy pillanatnyi karsztvízszintet jelölnek (az árvízi vízszintek több tíz méterrel magasabban is kialakulhatnak). A karsztvízszint maximumainak pontosítására nagy segítséget jelentenek bükk "nagy vizes barlangok" pl. az István-lápai-barlang, a Szepesi-Láner-barlangrendszer, a létrási Vizes-barlang a Jávorkút-Bolhási-barlangrendszer, a Fekete-barlang, a Pénz-pataki-víznyelőbarlang, a Mexikó-völgyi-víznyelőbarlang, a Sebes-Szivárvány-barlangrendszer, a Szamentu-barlang (ezek közül többen volt projektszintű, több éves mérésorozatok).

A bükk nagy források csaknem kivétel nélkül ivóvízellátás céljára foglalva lettek, az ivóvízbiztonság miatt szükség volt/van a vízgyűjtő terület ismeretére is. Ez leginkább a víznyelőkbe juttatott és a forrásoknál megfigyelt nyomjelző anyagokkal (só, licopódium spóra, fluoreszcen stb.) történhet. Eddig a 100-at is jóval meghaladja a vizsgálatok száma (Sásdi 2002).

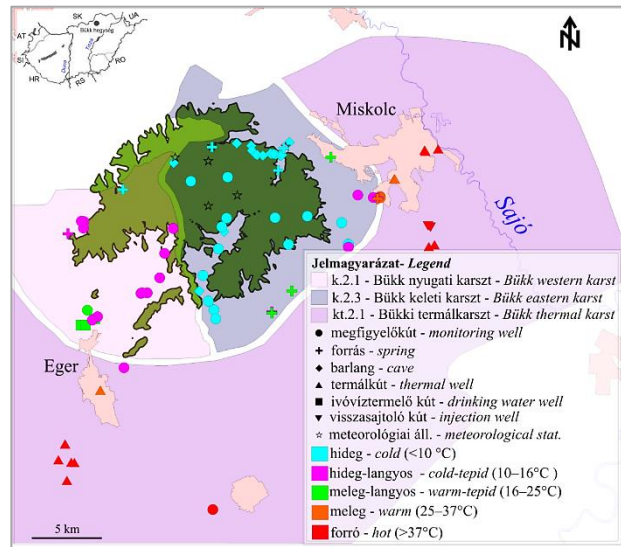
A Bükk belsejében lejátszódó vízmozgásokra a víztermeléssel nem befolyásolt karsztvízfigyelő kutakból, forrásokból, barlangokból származó folyamatos adatok adnak legtöbb információt, de fontosak a termeléssel zavart adatok is. 1981-1995 között jelentős csapadékhiányos időszak volt, ennek hatásait az 1978-1981 közötti években a Böcker Tivadar tervei (Böcker 1969) alapján fűrt öt karsztvízszint figyelő kúttal vizsgálták, időszakos mérésekkel. A víztermelés biztonságának fokozására a vízügyi hatóság (azon belül kiemelten Stéfán Márton ÉVIZIG főmérnök) a termelés előrejelzését segítő monitoring létesítését tartotta szükségesnek.

1. táblázat. Az Nv-17 megfigyelőkút jellemző napi átlagvízszintjei  
Table 1. Typical daily average water level data of monitoring well Nv-17

Adat típusa	Adat	Dimenzió	Időszak
Abszolút maximum	549,85	mBf	2010.06.08
Az összes mért adat átlaga	529,71	mBf	1992.11.01 - 2020.04.29
Abszolút minimum	521,74	mBf	2012.03.10
Abszolút különbség	28,11	m	1992.11.01 - 2020.04.29
Maximális évi ingadozás	25,88	m	2010-es hidrologiai év
Minimális évi ingadozás	3,51	m	2012-es hidrologiai év

A fűrási, barlangi és forrás adatok ismeretében a Bükk karsztvízdomborzatának tetőhelyzetben lévő karsztvíz szintjét nagy valószínűséggel az Nv-17 közelíti meg legjobban, ezért minden kutatás során ezt tekintjük etalonnak.

A folyamatosan mérő műszerek telepítését a karsztvízszint figyelő kutakba, forrásokba, termálkarsztkutakba, barlangokba a Nehézipari Műszaki Egyetemen 1992-ben kezdtük meg, a bükk karsztvíz termelésben érintett vízművek segítségével. (Ma ez a támogatás sajnos jelentősen lecsökkent, erősen veszélyeztetve a mérőrendszer működőképességét). Összesen több mint száz helyen történt rövidebb-hosszabb idejű saját mérés, kiegészítésként vagy adatserekeként legalább két tucatnyi helyről kaptunk rövidebb-hosszabb ideig adatokat. Pillanatnyilag 18 mérőhelyről van legalább 20 éves adatsorunk, ezek közül hat mai mérőhelyen a mérések 1992-ben kezdődtek meg. A mérési gyakoriság zömmel 15 perces, az adatok zöme vízszint (nyomásszint), jelentős számú vízhőmérséklet, kevesebb víz vezetőképességi, nagyon kevés radon adattal. A mérési pontok elhelyezkedése, valamint típusa a 2. ábrán látható.



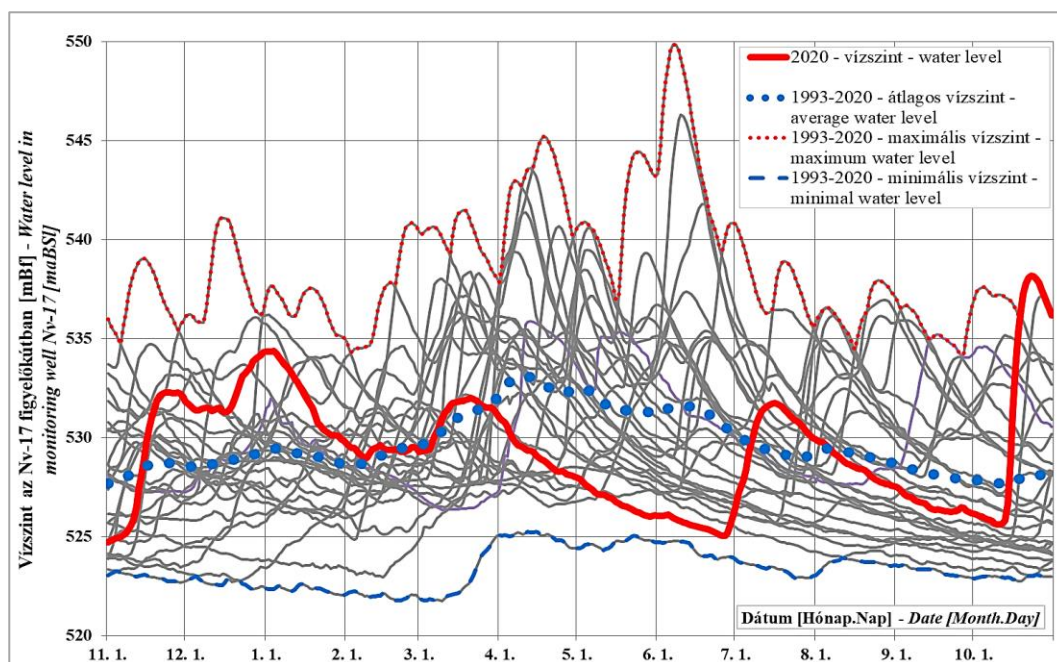
2. ábra. A Bükk Karsztvízszint Észlelő Rendszer mérőhelyeinek elhelyezkedése, típusai és vízhőmérséklete az adott pontokon  
Figure 2. Location, type and water temperature of the monitoring points of the Bükk Karst Water Level Monitoring System

A legfontosabb mérőhely a karsztvíz-domborzat tetőhelyzetében lévő Nv-17 (1. ábra), mely a Nagyfennsík, Nagymező keleti peremén található. A bükk adatok (vízszint, vízhőmérséklet, víz vezetőképesség) száma kb. 16 800 000, ebből körülbelül 12 800 000 adatbázisba (Balla és társai 2015) lett rögzítve. Az egyetemi oktatásban és kutatásban a BKÉR keretében született mérések feldolgozásának eredményei rendszeresen felhasználásra kerülnek.

A kút jellemző napi átlag vízszintjei az 1. táblázatban láthatók. Az év azonos napjain mért napi átlagértékeket, a teljes mérési időszak azonos napi maximális, átlagos és minimális értékeit, valamint a 2020-as hidrologiai év napi át-

lagértékeit a 3. ábra mutatja be. A bemutatott adatok jól szemléltetik, hogy a tetőhelyzetben lévő karsztvízszint-változás milyen tartományban változik, és generálja a

Bükkben történő karsztvíz mozgást. Mivel ezt tekintjük a legfontosabb mérőhelynek, ez a kút került részletesebb bemutatásra az anyagban.



3. ábra. Az elmúlt 27 év vízszintjei a bükki karsztvízdomborzat legmagasabb mért pontján (Nv-17) az évek azonos napjain  
Figure 3. Water level measured on the same days of the past 27 years in the highest measured point (Nv-17) of the karst water level relief

#### A vízszintregisztrálók üzemeltetésének gyakorlata, változások a terepi munkában

A rendszerbe 1992-ben telepített első vízszintregisztrálók a DATAQUA Kft. által gyártott műszerek voltak. A BKÉR-en belül a DLC DA21 és DA23 típusú, egy (W), ill. két csatornás (WT) szondák terjedtek el, amelyek a kapilláris csővel ellátott speciális légzőkábel alkalmazásával a nyomásmérés elvén működő, de a légköri nyomástól független vízszintadatokat szolgáltató, típustól függően a víz-hőmérséklet mérésére is alkalmas eszközök. A műszerek kezelésére, ill. az adatok mentésére kezdetben egy, az erre a célra kifejlesztett, zsebszámológép méretű kézi adatkinyerő terminál (HNS), ill. egy speciális adatkábel szolgált. A terminálból az adatokat egy másik, az asztali számítógépek soros portjához csatlakoztatható adatkábelrel lehetett átmenteni a DATAQUA Elektronikai Kft. által kifejlesztett WAQUACOM nevű szoftverrel.

A kézi adatkinyerő nem tette lehetővé azonban a regisztrált adatsorok, azaz a műszerek helyes működésének teljes körű helyszíni ellenőrzését, ezért a gyártó a programot is korszerűsítette. Az új szoftverrel az időközben a terepi munkában is elérhetővé vált hordozható számítógépek képernyőjén a kinyert adatsorok a helyszínen megtekinthető lettek, amely nagyban elősegítette a műszerek helyes beállítását, megfelelő mélység-szintbe telepítését, azaz lehetőséget nyújtott arra, hogy mindent megtehesünk az adathiány, ill. a véletlen adatvesztések elkerülése érdekében.

A 2000-es évek elején megjelentek a korábbi típusoknál sokkal megbízhatóbb, DA PIC WISE típusú műszerek, amelyekhez a gyártó, a DATAQUA-2002 Kft. a korábban

használt WAQUACOM kezelőprogram még újabb, korszerűsített változatait is kifejlesztette. Ezek a szoftverek természetesen alkalmasak voltak valamennyi régebbi műszertípussal történő kommunikációra is.

A következő előrelépést a vízszintregisztrálók tekintetében a DATAQUA Elektronikai Kft. által kifejlesztett DA-SMARTacu műszercsaládhoz tartozó többszörös, a vízszint és a hőmérséklet mellett már akár a víz fajlagos vezetőképességének változását is regisztrálni képes berendezések jelentették. Az ugyancsak a nyomásmérés elvén és a légzőkábel alkalmazásán alapuló berendezések elektronikája sokkal fejlettebb, mint elődeiké. A műszerek stabilak, a telepek hosszú, akár 5 évet is meghaladó élettartama alatt gyakorlatilag karbantartást nem igényelnek. Az eszközökkel történő kommunikációt a műszercsaládhoz kifejlesztett, az adatkinyeréshez és a további adatfeldolgozáshoz is használható hordozható számítógépre telepíthető kezelőprogram, a SMARTADMIN biztosítja.

Tapasztalatunk, hogy a műszeres vízszintmérések mellett a kinyeréskor minden esetben szükséges a vízszintek hagyományos, de hiteles vízszintmérő eszközökkel történő „kézi” mérése. A helyszínen cm pontossággal mért vízszint nagyon fontos alapadat a műszerek telepítéskor, illetve az adatkinyeréskor is, mivel a legtöbb műszernél (különösen a régebbi típusoknál) tapasztalható kisebb-nagyobb alapvonal eltolódási hiba. A kézi mérés tehát a műszer megfelelő működésének ellenőrzését szolgálja, másrészt lehetőséget ad arra, hogy pl. mérési hiba, vagy „idegenkezűség” észlelése (a nyomásérzékelő mélységének megváltoztatása) esetén kijavítsuk a hibás, vagy adathiányos adatsort.

Az elmúlt közel három évtized alatt a rendszerbe bevont észlelési helyek száma, esetenként az egyes észlelőpontok megközelíthetősége is jelentősen megváltozott. Például a védett természeti területekre történt behajtás feltételei szigorodtak, területeket kerítettek el, sorompók nőttek ki a földből, az észlelőrendszerbe bevont ivóvízbázisok esetében pedig a vízbiztonság növelése végett sok esetben nyitászérzékelők, mozgászérzékelőhöz kötött riasztó berendezések kerültek kiépítésre. A vízmű üzemeltetőkkel jó a kapcsolatunk, így ezekre a mérőhelyekre biztosított a bejutás, azonban a műszerekhez történő hozzáférés sok esetben még külön eszközöket, speciális kulcsokat, célszerszámokat is igényel.

A megközelíthetőséget persze nem csak az ember változtathatja meg, sokszor a természet is közbeszól. Ezek lehetnek az időjárással összefüggő körülmények, illetve más természetes folyamatok is, hiszen a mérések kezdete óta eltelt 28 év alatt a természet már részben, valamint beavatkozás nélkül már teljesen visszahódította volna a tőle korábban elragadott területeket.

A járművel történő közlekedést a sáron, télen a vastagabb hótakarón kívül az ónos eső, vagy a letaposott hóból kialakult jégkéreg is megnehezítheti, ezért fontos, hogy télen hólánc, ásolapát, hólapát, vontatókötél, illetve egy-két zsák szóróanyag (homok) mindig legyen az autóban. Nagyobb hóban felesleges az elakadást kockáztatni, így jobb a járművel egy biztonságos helyen megállni és bakancsban, kamásliban megközelíteni az észlelési pontot, természetesen az összes, a kinyeréshez szükséges eszközzel és hólapáttal felszerelve.

Az időjárás, azon túl, hogy az észlelőhelyek megközelíthetőségét befolyásolhatja, alapvetően meghatározza a terepi munka körülményeit is. Hidegben a számítógép akkumulátora vagy a fejlámpa telepei hamarabb lemerülnek, az el- és lefagyott zárok, ajtók, aknafedelek kinyitása nehézségeket okoz. A műszerek légző és tartókábelei ridegek, sérülékenyek lesznek, telepítés után csak igen lassan, órák alatt egyenesednek ki. A hóesés, eső, zápor, zivatar (különösen erős széllel) az adatkinyerést, a terepi mérést megnehezíti, adott esetben el is lehetetlenítheti.

#### *A terepi mérések tapasztalatai, tanulságok*

A hosszú távú, megbízható adatsorok záloga az átgondolt műszerválasztás és telepítés, majd a precíz, gondos üzemeltetés és az időszakos karbantartás. A műszerválasztás során az egyes csatornák méréshatárait az adott helyen észlelni kívánt paraméterek változékonyságához, így például a légzőkábel és a tartókábel hosszát, arányait, a várható vízjáráshoz kell igazítani.

Az üzemeltetés során az ellenőrző kézi mérés mellett másik két igen fontos mozzanata a műszerek kezelésének a nyers mérési adatok helyszíni ellenőrzése és a kinyeréseket követő újratelepítés. A kinyert adatok grafikus, illetve táblázatos megjelenítésével ellenőrizhetők a kezdeti és végértékek, a minimum és maximum értékek, egyéb rend-

ellenességek, adathiányok, így rövid idő alatt megállapítható, hogy a műszer jól működik-e, illetve ha nem, mi a további teendő az adathiány elkerülése érdekében. A műszerek kinyerést követő újratelepítése azért is fontos, mert ezzel megakadályozható, hogy az időmérés, valamint a nyomás (mélység) mérés hibája a hosszú távú adatsorokban halmozottan jelenjen meg. Minden műszernek, különösen a régebbi típusoknak, „lelke” van, ezért nagyon fontos a kinyerés és telepítés során a naplózás, azaz minden lényeges adat és körülmény feljegyzése, amelyek a biztonságos üzemeltetéshez, az adatok feldolgozásához, esetleges javításához, értelmezéséhez szükségesek lehetnek.

#### *Adatelőkészítés – előfeldolgozás*

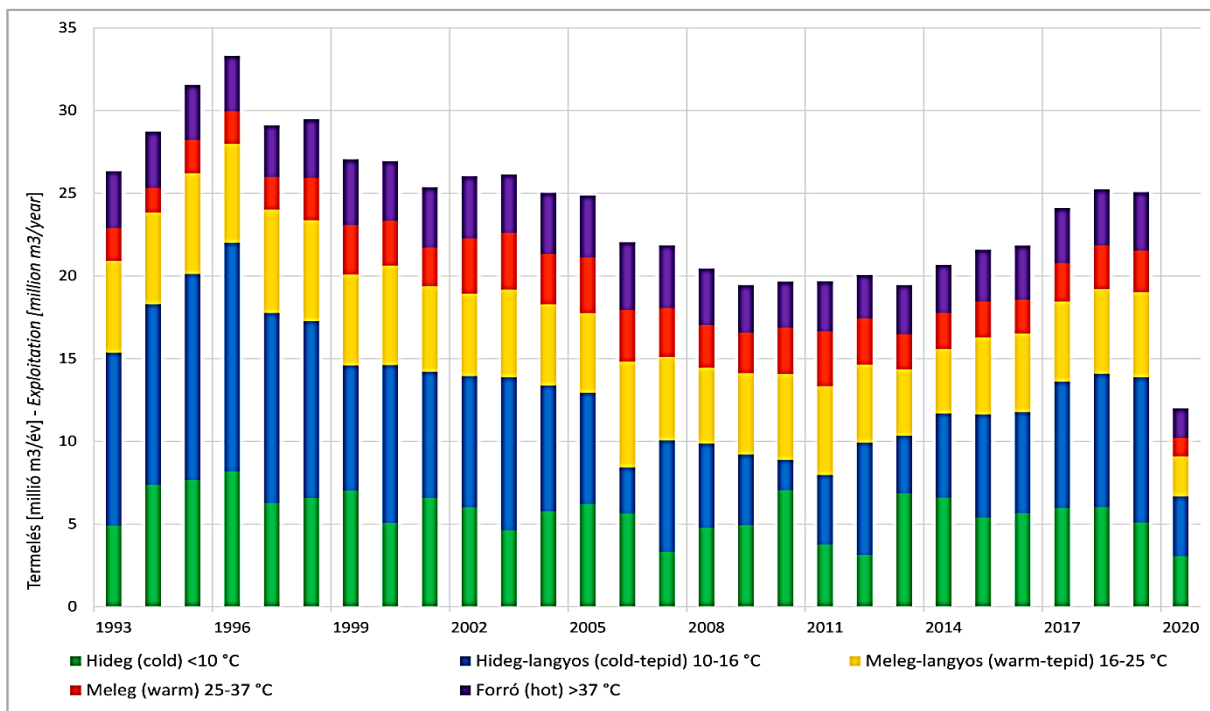
Az adatelőkészítés feladta a nyers mérési adatok konvertálása olyan formátumba, amely lehetővé teszi az adatok további szűrését (a hibás adatok leválogatását és törlését) és az adatsorok javítását. A konvertálás a SMART műszerek esetében a REC fájlból DXT, majd XLS állomány előállítását jelenti, míg a DA 23 és PIC WISE műszerek esetében a nyers WAQ állományokból a WAQUACOM szoftverrel állítunk elő MS Excel-ben feldolgozható XLS fájlokat. A szűrés, javítás (az ellenőrző kézi méréshez igazítva), illetve a valós időbe helyezés már Excel állományban történt, történik. A szűrt, javított adatsorokból az adatkezelés egyszerűsítése érdekében napi átlagokat számítunk, majd a napi átlagokból képzett adatsorokat a korábbi, meglévő adatsorokhoz csatoljuk hozzá. Az összefűzött adatsorok illeszkedésének ellenőrzésére az adatokból grafikonok készülnek, majd az elsődleges adatfeldolgozás után valamennyi állományt a további ellenőrzést, kiértékelést és elemzést végző kollégák részére továbbítjuk (Czesznak 2018).

#### **Karsztvíz-felhasználás a Bükk hegységben és környezetében**

A Bükk hideg és langyos karsztvizét ivóvízként és kommunális vízként használják fel. A termálkarsztvíz felhasználása főleg fürdősi céllal történik, de a víz lehűtésekor keletkezett hőmennyiséget fűtési célra felhasználják. A gyógyvízre alapozott gyógyászat (Eger, Egerszalók, Demjén, Mezőkövesd-Zsóry, Bogács, Miskolc-Tapolca) igen jelentős. A fűtési célú vízkivétel (Mályi) és visszasajtolás (Kistokaj) biztosítja a miskolci távhőszolgáltatás energiaigényének több mint 50%-át.

A „bükki termálkarszt” Bükk-térségre eső részének tárolt vízkészletét 500 millió m<sup>3</sup>-re becsüljük. A Bükkből történő éves karsztvíztermelés megoszlását, valamint hőfok szerinti megoszlását – termelői adatok alapján – a 4. ábrán mutatjuk be. 1992-1996 között a csapadék növekedése miatt egy emelkedő szakasz volt, a karsztvízművek több vizet tudtak termelni. Innen a 2010-es évekig folyamatos a csökkenés, mert több ok miatt csökkent a vízigény, ill. esetenként (pl. 2006-ban és 2010-ben a Miskolctapolcai Hidegvízművet) vízminőségi problémák miatt ki kellett zárni kutakat a termelésből. A 2010-es évektől a termelés ismét emelkedik, aminek egyik oka a Bükk-térségi termálkarsztvíz egyre erőteljesebb felhasználása.



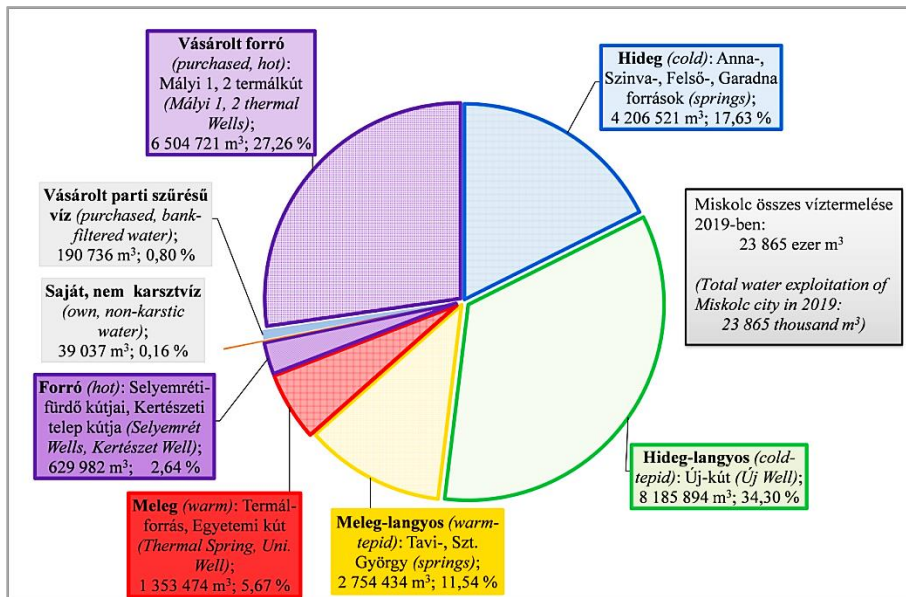


4. ábra. A bükki és Bükk-térségi karsztvíz-termelés, az energetikai célú kitermelt-visszasajtott mennyiség nélkül (2020-as évre nem teljes az adatsor)

Figure 4. Amount of exploited karst water in the Bükk Mountains and its surrounding, without the geothermal exploitation-reinjection rates (dataset is not complete for the year of 2020)

Az 5. ábrán Miskolc város karsztvíztermelését, a saját és vásárolt nem karsztos vízmennyiséget mutatjuk be hőmérséklet szerint csoportosítva, melyen már szerepeltetjük a Mályi-Kistokaji kiemelt-visszasaj-

tolt forró karsztvízmennyiséget. Ennek a vízmennyiségnek a kiszámlázási díjtételeket figyelembe véve a pénzbeli értéke kb. 9,5-10 milliárd Ft évente (szennyvíz díj nélkül).



5. ábra. Miskolc város víztermelésének megoszlása 2019-ben (a forró víz teljes mértékben visszasajtolásra kerül)

Figure 5. Water production rates in the city of Miskolc in 2019 (amount of exploited hot water is fully re-injected)

A miskolci vízműforrások első védőidomát a vízügyi hatóság 1987-ben jelölte ki a Böcker – Vecsernyés szerzőpáros 1983-as munkájában foglaltakra épülően. Ebben a védőidomban a termálkarsztra vonatkozó óvó-védő szabályok voltak, de a 2012-ben elkészült új védőidom határozat csak a hidegkarsztra vonatkozóan rendelkezik, termálkarsztra az még folyamatban van.

Miskolc közvetlen környezetében 2013 óta egy igen jelentős termálkarsztvíz hasznosító is megjelent. A várostól légvonalban 5 km-re található Mályi-Kistokaj településen került kivitelezésre a PannErgy Nyrt. és Miskolc Megyei Jogú Város Önkormányzata együttműködésében egy fűtési célú geotermikus rendszer. A projekt fő célja a városi fűtőművek károsanyag-kibocsájtásának csökkentése,

ezzel együtt a zöld, tiszta energia beintegrálása a város energiamegteremtésébe, és megújuló hőenergia biztosítása. A geotermikus energia a város egy jelentős részén távhő célú felhasználásként jelenik meg.

Az első termelőkút mélyítése és kivitelezése 2010-ben kezdődött meg, és a vártnál is ígéretesebb eredményeket hozott. Mivel a kitermelt víz hőmérséklete (105 °C) geotermikus célokra való felhasználáshoz tökéletes, így a területen termelő-visszasajtoló rendszerben 2 darab termelő-, és 3 darab visszasajtoló kút létesült és került üzembe helyezésre. A kutak fő paramétereit a II. táblázat tartalmazza. A bükkai termálkarszt vízbázisán alapuló rendszer teljes hőkapacitása 60 MW<sub>t</sub>, mely jelenleg Magyarország legnagyobb geotermikus fűtőműve.

2. táblázat. A Mályi-Kistokaj geotermikus rendszer termelő és visszasajtoló kútjainak főbb paramétereit

Table 2. Main parameters of exploitation and injection wells in the Mályi-Kistokaj geothermal system

Kút jele	Mélység (m)	Kitermelt vízhőfok (°C)	Hozam (l/perc)	Nyelőkapacitás (l/perc)
MAL-PE 01	2305	102,2	6600-9000	-
MAL-PE 02	1514	87,2	8000	-
KIS-PE 01	1737	-	-	1600
KIS-PE 01B	1093	-	-	5600
KIS-PE 02	1058	-	-	7000

Mivel a geotermikus energiafelhasználás célja Miskolc város távhő szolgáltatásában a gázüzemű motorok egy részének kiváltása, ezért szigetelt szállítóvezetékken jut el a kitermelt termálkarsztvíz az Avason és a Tatár utcában, valamint a Belvárosban található hőközpontokba. A rendszerrel így körülbelül 27 000 lakás fűtése és használati melegvíz igénye biztosított geotermikus energiával. A hőközpontokból visszatérő vezetékágakra szekunder fogyasztók csatlakoztak, melyek különböző mezőgazdasági és ipari létesítmények. Ennek segítségével 7 000 m<sup>2</sup> alapterületen megoldott számtalan fóliasátor fűtése is, valamint két gyárüzem teljes hőenergia-igénye geotermikus forrásból van fedezve. A szekunder felhasználási pontok után a maradványhő hőcserélőn leválasztásra kerül, mely további lakossági és ipari felhasználásra kerül. A kétlépcsős hőhasznosítás után a víz visszasajtolásra kerül a karsztrendszerbe, fenntartva ezzel a vízmérleget.

## EREDMÉNYEK

### A BKÉR mért adatok felhasználási módjai

A Bükkai Karsztvízszint Észlelő Rendszer működése következtében rendelkezésünkre álló hosszú távú (akár több mint 28 év hosszúságú, részletes felbontású) adatok egyrészt egyedülállóak, másrészt sokcélúan felhasználhatóak. Jelen cikk célja nem az, hogy az elmúlt évek fő kutatási eredményei bemutatásra kerüljenek, hanem az, hogy a BKÉR adatai milyen széles körben, sok területen kerülnek, kerültek felhasználásra. Az adatok mind tudományos kutatási célokra, vízgazdálkodási döntéstámogatási vizsgálatokra, vagy akár új vizsgálati módszertan kidolgozására is lehetőséget biztosítanak. Az elmúlt több mint 28 évben számtalan módon kerültek felhasználásra. A vízgazdálkodási ágazati szektorban a karsztvíz készletek mennyiségi becslése folyamatosan történik a Miskolci Egyetem részéről. Ez a bükkai karsztvizet termelő vízmű

vállalatok, és a Vízügyi Igazgatóság számára havi jelentések formájában megtörténik, támogatva ezzel a vízgazdálkodási ágazat igények szerinti döntéshozatali folyamatait (Lénárt 2020). A 2010-es bükkai karsztvíz óta – kérésükre – a miskolci Katasztrófavédelmi Igazgatóság részére is megküldésre kerülnek a havi jelentések. Azon vízmű vállalatok, melyek részt vesznek a monitoring rendszer üzemeltetésében, éves jelentést is kapnak, mely segít a hatóság felé történő adatszolgáltatási kötelezettségeik teljesítésében. Továbbá két kút adatait felhasználja a Vízügyi Igazgatóság az EU Vízkereitirányelv keretében kijelölt víztestekben történő vízszintváltozások nyomon követésére is.

A hosszú hidrogeológiai jellegű adatsorokra számos kutatás alapult, melyek szerteágazó irányokban igen sok értékes eredményt szültek, folyamatosan bővítve ezzel a karsztrendszerrel rendelkezésünkre álló tudásanyagot. Az adatsorok interpretálása, és más adatokkal való együttes vizsgálata (pl. csapadékatatok) alkalmas a csökkenő-, ill. növekvő karsztvízszintek előrejelzésére (Lénárt 2005, Darabos 2012); felszín alatti árhullámok vizsgálatára, árvízvédelmi célokra (Hernádi és társai 2014); luniszoláris hatások karsztvízszintekre gyakorolt hatásainak vizsgálatára (Lénárt 2005, Segura 2019); a vertikális karsztosodottsági vizsgálatok elvégzésére és ezen zóna vastagságának meghatározására (Hernádi és társai 2012); karsztvíz-domborzati térkép pontosítására (Miklós 2016); a klímaváltozás hosszú távú lehetséges hatásainak karsztvízszintekre gyakorolt hatásainak vizsgálatára (Szegeginé Darabos és társai 2015) vagy a hideg és termál karsztrendszer kapcsolatrendszerének kutatására is (Lénárt és társai 2014).

A karsztvízszint észlelő rendszer folyamatos működése és adatszolgáltatása kitűnő alapot nyújtott számos kutatás projekt számára is (Lénárt és Lénárt 2008, Kovács és társai 2015, Madarász és társai 2015, Gondárné Sőregi és Gondár 2017). A 2006-ban történt karsztvíz adatainak elemzési eredményeit sikerrel alkalmazzák azóta a hegység és környezetében árvíz-előrejelzési célokra, támogatva ezzel a vízügyi hatóságokat az időben történő védekezési intézkedések kivitelezésére. Ennek következtében a 2010-es karsztvíz és a 2013-as extrém karsztvízszintek idejében a monitoring rendszer jelentős szerepet játszott a rövid távú előrejelzésben és árvízvédekezésben is. Továbbá, napjainkban a karsztvízszint észlelő rendszer adatai, valamint a hegység előterében működő, fűtési célú geotermikus rendszer adatainak együttes vizsgálatával nyomon követhetőek és vizsgálhatóak a termálvíz kitermelés esetleges karsztrendszerre gyakorolt hatásai. A geotermikus rendszer üzemelésének kezdete előtt elmúlt 10-15 év adatai alapján a karsztrendszernek egy alapállapota került meghatározásra, mely viszonyítási alapként szolgál. A monitoring rendszer bizonyos pontjain történő mérési adatok (karsztvízszint, vízhőmérséklet), valamint az üzemeltető által szolgáltatott adatok (vízhőmérséklet, nyomás, termelési adatok) felhasználásával félevente komplex értelmezés és értékelés készül a Miskolci Egyetemen. A folyamatos monitoring tevékenységgel és vizsgálatokkal nyomon követhetőek a karsztrendszerben a termelés okozta hatások és változások. Ez különösen hangsúlyos, mivel Miskolcon

és környékén sok ivóvízcélú (hideg, langyos és meleg vizes), valamint balneológiai célú (termálvizes/hévízes/forró vizes) forrás és kút üzemel, melyek mind a karsztos vízbázisokon üzemelnek. A már 2012 óta rendszeresen készülő vizsgálatok eredményei tekintetében elmondható, hogy a hideg és termál karsztrendszer hidrodinamikailag kapcsolatban áll egymással, de a folyamatos és kiegyenlített geotermikus vízkitermelés és visszajuttatás nincs kimutatható káros hatással a karsztrendszerre és a kitermelhető karsztvíz mennyiségére. Mindezek mellett az üzemeltető karsztótokok vizsgálatai szerint a termelés nem okozott számottevő változásokat a karsztrendszerben, a nyomásviszonyokban nem észleltek negatív változásokat, a visszajuttatási nyomást nem kellett emelni, és a kitermelt vízhőfok változatlan az üzemelés kezdete óta. Mindezek ellenére a figyelőrendszer fenntartása feltétlenül indokolt, mert időnként előfordultak rövid idejű, nem jelentős, de nem egyértelmű és pl. pontos termelési adatok hiányában nem értelmezhető értékek az adatsorokban.

### Új típusú vízkészlet-számítási módszer

A klasszikus vízkészlet számítási módszerek problematikáját az okozza, hogy a vízháztartási egyenleten alapulnak, mely egyes elemeinek a meghatározása bonyolult, és bizonytalanságokkal terhelt, valamint az utánpótlódási viszonyok is számításba vannak véve (*Cheng-Haw és társai 2006*). A Bükk hegységre kidolgozott korábbi vízkészlet számítási módszerek szintén a vízháztartási egyenleten alapultak (*Kessler 1954, Csepregi 1985, Mező 1995, Gondárné és társai 2008*). A vízkészletek mennyiségének egy másik meghatározási módja, amikor a tárolt víz mennyisége kerül megbecslésre, alapul véve egy monitoring rendszer részletes mért adatsorait és a tározó kőzetösszetétel vízföldtani paramétereit. Ezen módszerek első lépése egy geológiai-topográfiai információs rendszer felépítése, melyben lehetőség van az adatok kezelésére és vizualizációjára. A szükséges paraméterek bevitele után lehetőség nyílik a vízkészletek mennyiségi meghatározására (*Hinaman 2005, Kinzelbach 1986, Liedl és társai 2003, Reimann és társai 2011*).

Ez utóbbi metodika mentén kidolgozott új típusú vízkészlet-számítási módszer a Bükk esetén újdonságnak számít, emellett a módszer egyszerűbb, és lényegesen pontosabb, és még fontosabb, hogy mérési adatsorokon alapul. A számítások alapját képezik a hegység geográfiai és geológiai információi, a karsztvízszint észlelő rendszer mérési adatai, valamint a Forráskataszter szerinti forráskilépési szintek.

Első lépésben *Less és társai (2005)* munkája nyomán egy új vízföldtani kategória térkép készült (*1. ábra*) a Bükkre vonatkozóan. A hegységet felépítő formációk vízföldtani tulajdonságaik alapján 5 csoportba kerültek besorolásra, mely a *3. táblázatban* látható. A témával foglalkozó szerzők a legtöbb esetben szivárgási vizsgálatok alapján határozzák meg a porozitás értékeket, és általában átlagértékeket közölnek, de a Bükk esetén az is előfordul, hogy külön értékeket adnak meg víznyelőkre, barlangjáratokra és magára a kőzetmátrixra (*Schmieder 1975, Böcker és Dénes 1977, Szilágyi és társai 1980, Böcker-Víz 1981, Szlabóczky 1988, Motyka és Zuber 1998, Kovács 2003, Milanovic 2004, Kovács 2006, Seymour 2012*). A *3. táblázatban* szereplő porozitás értékek alacsonynak tűnhetnek

egy karsztrendszerre, de a módszer lényege a kőzettérforogtatban tárolt vízmennyiség meghatározása, mely tározásban elsődlegesen a kőzetmátrix vesz részt, a karsztosodott, nagyméretű járatok nem.

### 3. táblázat. Vízföldtani kategóriák és hozzájuk tartozó porozitás értékek a Bükk hegységben (Darabos 2017)

Table 3. Hydrogeological categories and associated porosity values in the Bükk Mountains (Darabos 2017)

Vízföldtani kategória	Kőzettípus	Porozitás
Jól karsztosodó kőzetek	mészkö	0,0075
Gyengén karsztosodó kőzetek	dolomit, mészkö	0,0025
Nem karsztosodó (tufa)	riolittufa, dácittufa	0,001
Nem karsztosodó (egyéb)	metamagmás kőzetek	0,001
Vízrekesztő kőzetek	aleurit, turbidit, homokkő, agyagkő, radiolarit, agyagpala	0,0005

A rendelkezésre álló földtani, vízföldtani adatok alapján, továbbá a karsztvízszint észlelő rendszer monitoring pontjain mért karsztvízszint adatsorok alapján számított átlagvízszint értékek, valamint a VIFIR forráskataszter bükki adatai, források fakadási szintjei alapján interpolációs módszerrel előállításra került a hegység karsztvíz-domborzati térképe. (A DNy-i területek komplex földtani felépítése jelentősen eltér a hegység központi egységétől, így ezen területre a számítások nem lettek elvégezve.) A karsztvíz-domborzati térkép elkészült a mindenkori minimum és maximum karsztvízszintek alapján is, de bármely időpillanatra előállítható a mérési pontokon az azonos időben mért karsztvízszintek alapján. A modell alapszintje a hegységből legalacsonyabban kilépő forrás szintje (Miskolctapolca, Hidegvízmű, a Hejő hideg forrása 127 mBf) alapján került kijelölésre (*Szegediné Darabos és társai 2014*). Az így létrehozott vízdomborzat és a meghatározott porozitás értékek, illetve technikai határok (lassan, gyorsan utánpótlódó dinamikus és termál karsztvíz készlet) segítségével pillanatnyi készletbecslés és beszivárgás vizsgálat is végezhető. Az előállított Nv-17 vízszint - vízkészlet függvény pedig a hétköznapi felhasználó szintjére egyszerűsíti a módszer alkalmazását. Ezáltal az eredmények közvetlenül felhasználhatóak a Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézetben a vízművek számára továbbra is végzett készletbecslések során (*Darabos 2017*).

### Kút-, és forrás hidrogram elemzések eredményei

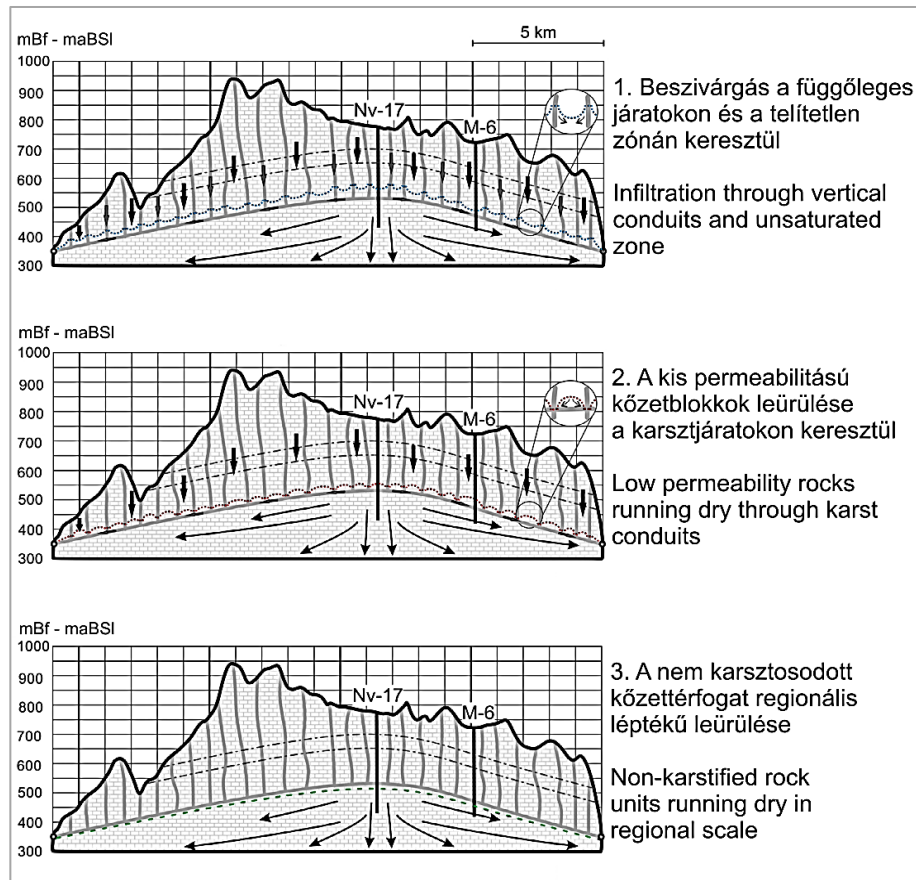
A Bükk-fennsík forrásain végzett forrás- és kúthidrogram elemzések fontos információkkal szolgáltattak a terület hidrodinamikai működését illetően. *Kovács (2003), Kovács és társai (2005), Kovács és társai (2015)*, valamint a *Kovács és Perrochet (2008 és 2014)* által kidolgozott analitikus megoldásokon alapuló módszereket alkalmazták a karsztjárat rendszer geometriájának és a terület hidrodinamikai működésének jellemzésére.

A Szinva-forrás illetve a Garadna-forrás vízgyűjtőhöz tartozó három megfigyelőkút és a két forrás hidrogramjainak elemzésére került sor. A forráshidrogramok és a kúthidrogramok elemzése hasonló eredményeket szolgáltatott. Három különböző kiürülési együttható különíthető el ezeken a hidrogramokon. A kiürülési együtthatók közötti több



nagyságrendnyi különbség az áramlás léptékének (lokálisból regionálisba történő) megváltozását igazolták a kiürülési folyamat során. Az alaphozamhoz tartozó kiürülési együttható kiterjedt (kb. 20 km) áramlási zónára utal,

ami megegyezik a Bükk vízadó kőzeteinek kiterjedésével. A közbülső és az árvízi kiürülési együtthatók a kis permeabilitású kőzetblokkok kiürülését jelzik, amelyek a vízadó felső, karsztosodott zónájában helyezkednek el.



6. ábra. A Bükk Fennsík koncepcionális hidrogeológiai modellje a hidrogram elemzések alapján  
Figure 6. Conceptual hydrogeological model of the Bükk Plateau based on the results of the hydrograph analysis

A hidrogram elemzés eredményei azt mutatják, hogy a karsztosodás és az aktív vízmozgás a karsztvíz tükör zónájában történik. Hosszabb aszályos időszakok során azonban a karsztvíz-szint a karsztosodott zóna alá süllyedhet, ilyenkor a blokk-léptékű áramlás megszűnik, és sokkal lassabb, regionális léptékű vízszint-süllyedés zajlik, ami összefüggő vízadó rendszer jelenlétére utal (6. ábra). Ez alól csak a vízrekesztő képződmények által izolált vízgyűjtők képeznek kivételt. Ilyen hidraulikai működést mutat a Garadna vízgyűjtő, amelyik a Bükk-fennsík fő tömegétől hidraulikailag izoláltként viselkedik.

A hidrogram elemzés során Kovács és társai (2015) 300-700 méteres blokkméretet határoztak meg. A blokkok asszimmetrikusak, és a karsztjáratok távolsága a két vizsgált irány között 0,5-0,8-szoros különbséget mutat. A felszíni karsztjelenségek valamint a víznyelők elhelyezkedésének vizsgálata, valamint Hernádi és társai (2012) vertikális karsztosodottsági vizsgálata is egyértelműen alátámasztják a hidrogram elemzés eredményeit.

A kiürülési együtthatók több nagyságrendnyi csökkenése a kései kiürülés során arra utal, hogy az aktív karsztosodási szint a jelenlegi víztükhöz köthető, és egyben a hidraulikailag aktív mély-freatikus karsztjáratok hiányára utal (Kovács és társai 2015).

## KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmány keretében a Bükk hegység regionális hidrogeológiai viszonyai kerültek bemutatásra. Ilyen átfogó és részletes hidrogeológiai áttekintő leírás a Bükk hegység esetében eddig nem került publikálásra. A Bükk hegység értékes vízkészleteivel igen jelentős karszt területnek számít Magyarországon. A jelen tanulmány elsőként ad összefoglaló áttekintést az elmúlt évek, évtized főként monitoring adatokon alapuló komplex vízföldtani vizsgálatainak főbb eredményeiről, beintegrálva azokat Bükk-hegység igen összetett hidrogeológiai viszonyairól alkotott korábbi ismeretanyagba. Az összes elérhető monitoring adatra és vízföldtani információra épülő hidrogeológiai értelmezés egy több elemű karsztvíz rendszert tárt fel. A monitoring adatok és a felszín alatti áramlási rendszerek vizsgálata egyértelműen bizonyította a hideg, a langyos és a termál karsztvíz készletek közötti szoros hidrodinamikai kapcsolatot. A vizsgált térség természetes utánpótlódási viszonyai egyértelműen meghatározzák a hasznosítható vízkészletek nagyságát. Az ivóvíz szolgáltatás biztosítása mellett egyre jelentősebb igény merül fel a bükki termálvízkészletek hasznosítása vonalán is. Egyre szigorúbb vízgazdálkodási intézkedések mellett biztosítható csak a térségben a fenntartható vízhasznosítás. Ma már a Bükk-hegység karsztvíz készleteinél is egyértelműen kimutatható a szélsőséges időjárási viszonyok negatív hatása. A

monitoring adatokból egyértelműen kiderül, hogy a legalacsonyabb vízszintek egyre mélyebbre, míg a legmagasabb vízszintek egyre magasabbra kerülnek a hegység belsejében (Lénárt és Ilyés 2018) számos vízgazdálkodási problémát okozva (Darabos és társai 2016). A hosszú száraz időszakokban például egyre nagyobb kihívás az igényelt ivóvíz mennyiségének biztosítása a régióban. Csapadékos időszakokban pedig az egyre gyakoribb felszíni és felszín alatti villámárvizek által okozott problémák hatékony kezelése állítja jelentős kihívások elé a vízügyi szakembereket. A térség vízgazdálkodása szempontjából a jövőben még inkább felértékelődik a több mint negyedévszázados Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer, amely ma már jelentős mennyiségű vízminőségi információt is szolgáltat. A fenntartható termálvíz-hasznosítás szempontjából nemzetközi jelentőségű kiváló példaként említhető a Miskolcon működő, 60 MW<sub>t</sub> kapacitású geotermikus fűtőmű, ahol az energetikai hasznosítás után a lehűlt hévíz teljes mértékben visszasajtolásra kerül. A bemutatott regionális hidrogeológiai leírás a Bükk karsztvíz készleteinek vonatkozásában egyértelműen hozzájárul a hatékony térségi vízgazdálkodáshoz.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a Miskolci Egyetemen Műszaki Földtudományi Karának GINOP-2.3.2-15-2016-00031 jelű „Innovatív megoldások a felszín alatti vízkészletek fenntartható hasznosítása érdekében” című projektjének részeként – a Széchenyi 2020 program keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Strukturális és Beruházási Alapok társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOMJEGYZÉK

Balla B., Hernádi B., Lénárt L. (2015). A Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer (BKÉR) adatainak adatbázisba szervezése. MHT XXXIII. Országos Vándorgyűlése, Szombathely.

Balogh K. (1964). *A Bükk hegység földtani képződményei*. Magyar Állami Földtani Intézet évkönyve, 48(2), 245-553.

Bán P. (2001). Bél Mátyás Heves megye ismertetése 1730-1735. Fordította latinból Kondorné Latkóczy E., A Heves Megyei Levéltár forráskiadványai 8. p. 234. Eger.

Borbély S. (1955). Barlang- és zombolykutató a Bükkben. *Hidrologiai Közlemények* 35 (9-10), 357-362.

Böcker T. (1969). Az első karsztvíz megfigyelőkút a Bükk hegységben. *Hidrologiai Tájékoztató* 1969. június, 108-109.

Böcker T., Dénes Gy. (1977). *A Szinva, Anna, Diósgyőri és Tapolcai forráscsoportok védőidoma*. Kutatási jelentés. Témaszám: III. 4. I. 8., VITUKI, Budapest.

Böcker T., Vecsernyés Gy. (1983). Miskolc város vízellátására foglalt karsztforrások védőidomának víz- és környezetvédelmi atlasza, ALUTERV, Budapest.

Böcker T., Víz B. (1981). *Protection against underground waters of bauxite mining at Nyírad, Hungary, and its impact on the environment*. ALUTERV-FKI kutatási jelentés.

Cheng-Haw, L., Wei-Ping, C., Ru-Huang, L. (2006). Estimation of groundwater recharge using water balance coupled with base-flow-record estimation and stable-base-

flow analysis. *Environmental Geology* 51, 73-82. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0561-1>

Csepregi A. (1985). A karsztos beszivárgás számítási módszereinek összehasonlítása a vízszintváltozások elemzése alapján. *Hidrologiai Közlemények* 65. évf. 3. szám, pp 130-133.

Czesznak L. (2018). Terepi adatgyűjtés a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) keretén belül. *Műszaki Földtudományi Közlemények* 86 (3), 27-34.

Darabos E. (2012). Analysis of precipitation groups and related water level peak times in the Bükk Mountains. *Geosciences and Engineering* 1(1), 103-111.

Darabos E. (2017). Vízkészlet számítás és idősorok elemzése karsztosodottsági jellemzők meghatározása céljából a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer adatai alapján. PhD értekezés, Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet, Miskolc.

Darabos E., Miklós R., Kovács P., Szűcs P., Lénárt L. (2016). A bükki karsztvíz észlelő rendszer adatainak vizsgálata a hegységben jelentkező klímaváltozás jellegének és következményeinek meghatározásához. XII: Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Beregszász, 72-81.

Deák, J. (1989). Dating the thermal waters in the Eger area. 10th International Congress of Speleology, Budapest.

Dombi, S. (1766). *Relatio de mineralibus inclity Comitatus Borsodiensis aquis facta ad excelsum consilium regium locumtenentiale*. Bader Imre Felix kiadás, 23 o. Vindobonae.

Dövényi Z. (szerk.) (2010). *Magyarország kistájainak katasztere, második, átdolgozott és bővített kiadás*. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. ISBN 978-963-9545-29-8.

Filipović, I., Jovanović, D., Sudar, M., Pelikán, P., Kovács, S., Less, Gy., Hips, K. (2003). Comparison of the Variscan, Early Alpine evolution of the Jadar Block (NW Serbia) and “Bükkium” (NE Hungary) terranes; some geological implications. *Slovak Geological Magazine* 9(1), 23-40.

Gondárné K., Székvölgyi K., Gondár K., Gyulai T., Könczöl N., Kun É. (2008). Egy új módszer az utánpótlódó felszín alatti vízkészlet számítására hegyvidéki víztestek területén. Magyar Hidrológiai Társaság, XXVI. Országos vándorgyűlés, Budapest, pp. 667-681.

Gondárné Sőregi K., Gondár K. (2017). A bükki karsztvíz észlelő rendszer bővítése és a mért eredmények felhasználása a Bükk környékének vízgazdálkodásában. *Műszaki Földtudományi Közlemények* 86(3), 92-98.

Hernádi B., Lénárt L., Horányiné Csiszár G., Tóth K. (2012). A bükki nyílt karszt vertikális karsztosodottsága. *Karsztfejlődés* XVII., 63-78.

Hernádi B., Czesznak L., Juhász B., Kovács P., Lénárt L., Tóth M., Tóth K. (2014). Karsztárterek keletkezése a Keleti-Bükkben. *Karsztfejlődés* XIX., 105-124.

Hinaman, K. (2005). *Hydrogeologic Framework and Estimates of Ground-Water Volumes in Tertiary and Upper Cretaceous Hydrogeologic Units in the Powder River Basin, Wyoming USA, Virginia*. Scientific Investigation

Report, U.S. Geological Survey, 6-11. <https://doi.org/10.3133/sir20055008>

Izápi G., Maucha L. (1992). A Bükk-hegység vízház-tartási vizsgálata. A Bükk karsztja, vizei, barlangjai Konferencia, Miskolc.

Izápi G., Sárváry I. (1993). Tájékoztató a magyarországi karsztos termálvíz előfordulások állapotáról. Budapest, Eger, Hévíz, Miskolc-Tapolca. KHVM-OMBF, VITUKI Rt., Budapest.

Juhász J. (témavezető) (1989). *Kutatási zárójelentés a Bükk hegység kitermelhető vízkészletéről*. Miskolci Egyetem. Bükki vízművek megbízás. Kézirat, Miskolc.

Kessler H. (1954). *A karsztból tartósan kitermelhető vízmennyiség és a beszivárgási százalék megállapítása*. *Hidrológiai Közlöny* 34(56), 213-222.

Kinzelbach, W. (1986). *Groundwater Modelling*. N. Y.: Elsevier, Amsterdam. ISBN 978-0-444-42582-9.

Kovács, A. (2003). *Geometry and Hydraulic Parameters of Karst Aquifers: A Hydrodynamic Modeling Approach*. PhD Thesis, University of Neuchâtel, Switzerland.

Kovács, A., Perrochet, P. (2008). A quantitative approach to spring hydrograph decomposition. *Journal of Hydrology* 352, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.12.009>

Kovács, A., Perrochet, P. (2014). Well hydrograph analysis for the estimation of hydraulic and geometric parameters of karst aquifers. In: Mudry, J., LaMoreaux, J. W. (szerk.): *H2Karst Research in Limestone Hydrogeology*. Environmental Earth Sciences Book Series. Springer Science and Business Media, Heidelberg, 97–114. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-06139-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-06139-9_7). ISBN 978-3-319-06139-9.

Kovács, A., Perrochet, P., Király, L., Jeannin, P. Y. (2005). A quantitative method for the characterization of karst aquifers based on spring hydrograph analysis. *Journal of Hydrology* 303, 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.023>

Kovács, A., Perrochet, P., Darabos, E., Lénárt, L., Szűcs, P. (2015). Well hydrograph analysis for the characterisation of flow dynamics and conduit network geometry in a karstic aquifer, Bükk Mountains, Hungary. *Journal of Hydrology* 530, 484-499, doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.09.058

Kovács, B. (2006). A tapolcai Termál-kút hidraulikai viszonyainak elemzése numerikus modellszámításokkal. Kutatási jelentés.

Lénárt, L. (2002). A bükki karsztvízkutatás történeti áttekintése. A bükki karsztvízkutatás legújabb eredményei c. konferencia kiadványa, 2002, Miskolc. pp. 1-18.

Lénárt, L. (2005). Some aspects of the “3E’s” (Economics-Environment-Ethics) model for sustainable water usage in the transboundary Slovakian and Aggtelek karst region based on some examples from the Bükk Mountains. PhD Thesis, Technical University of Košice, Košice, Slovakia.

Lénárt, L., Ilyés Cs. (2018). Klímaváltozás – de mikor? (A BKÉR néhány hosszú adatsorának klímaváltozás szerinti elemzése). MHT XXXVI. Országos Vándorgyűlés, Gyula, 2018.07.04., 10. szekció, <http://hidrologia.hu/vandorgyules/36/>

Lénárt, L. (2020). *A Bükkben keletkezett kitermelhető karsztvízkészlet folyamatos meghatározásának módszere XXIX/a. (Az 1992. 10. 10. - 2020. 01. 01. közötti mérések értékelése)*. Jelentés, Észak-magyarországi Regionális Vízművek Zrt, Heves megyei Vízművek Zrt., Mezőkövesdi VG Zrt. megbízásából.

Lénárt, L., Lénárt, E. I. (2008). A GVOP 3.1.1.-2004-05-0530/3.0 VIMORE projekt keretében végzett bükki barlangi karszthidrológiai mérések összefoglaló értékelése. *Karsztfelődés* XIII. 103-116.

Lénárt, L., Hernádi, B., Szegediné Darabos, E., Debnár, Zs., Czesznak, L., Tóth, M. (2014). The importance of Bükk Karst Water Monitoring System (BKWMS) in researching the relations of cold and warm karst waters in the area. *Geosciences and Engineering* 3(5), 107-117.

Less Gy., Kovács, S., Pelikán, P., Pentelényi, L., Sásdi, L. (2005). A Bükk hegység földtana – Magyarázó a Bükk-hegység földtani térképéhez (1:50 000). Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest. ISBN 963 671 253 0.

Liedl, R., Sauter, M., Hückenhaus, D., Clemens, T., Teutsch, G. (2003). Simulation of the development of karst aquifers using a coupled continuum pipe flow model. *Water Resources Research* 39 (3), 1057. <https://doi.org/10.1029/2001wr001206>

Madarász, T., Szűcs, P., Kovács, B., Lénárt, L., Fejes, Z., Kolencsikné Tóth, A., Székely, I., Kompár, L., Gombkötő, I. (2015). Recent trends and activities in hydrogeologic research at the University of Miskolc, Hungary. *Central European Geology* 58 (1-2), 171-185. doi: 10.1556/24.58.2015.1-2.11

Mező, G. (1995). *Távlati vízbázisok biztonságba helyezésének programja: a bükki karsztrendszer földtani, víz-földtani és szimulációs modellje*. Kutatási jelentés, BKMI, Budapest.

Miklós, R. (2016). Bükki források összehasonlító vízkémiai vizsgálata karszthidrogeológiai kutatás keretében. Diplomamunka, Miskolci Egyetem.

Milanovic, P. (1967). Water regime in deep karst: case study of Ombla spring drainage area. *Karst Hydrology and Water Resources* 1. 165-191.

Motyka, J., Zuber, A. (1998). Water levels as response function for different porous-fissured-karstic systems. 6th Conference on Limestone Hydrol and Fissured Media. *Hydrogeology Journal*, 469-482.

OVF (Országos Vízügyi Főigazgatóság) (2015). *Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 2*. Budapest.

Pávai Vajna, F. (1929). A lillafüredi kutató mélyfúrás eddigi története és geológiai viszonyai. *Hidrológiai Közlöny*, 9. évf. pp. 38-50. Budapest.

Reimann, T., Rehl, C., Shoemaker, W. B., Geyer, T., Birk, S. (2011). The significance of turbulent flow representation in single-continuum models. *Water Resources Research* 47 (9). <https://doi.org/10.1029/2010wr010133>

Sásdi, L. (2002). Vízirajzi, vízföldtani viszonyok. In: Baráz Cs. (szerk.): *A Bükki Nemzeti Park*. Bükki Nemzeti Park Igazgatóság, Eger. ISBN 963 204 025 2.

Schmidt, E. R. (szerk.) (1962). Magyarország Vízföldtani Atlasza. Magyar Állami Földtani Intézet.



*Schmieder A.* (1975) in Martos F. (szerk.). Vízveszély és vízgazdálkodás a bányászatban.

*Schréter Z.* (1954). A Bükk hegység régi tömegének földtani és vízföldtani viszonyai. *Hidrológiai Közöny* 34 (7-8), 287-294.

*Segura, M.* (2019). Investigation of tidal effects on the karst water level in the Bükk Mountains, Hungary. Diplomamunka, Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Miskolc.

*Seymour, G.* (2012). *A meredek dőlésű mészkőkarszt felszínalatti vízrendszere*. Consulting Exploration and Economic Geologist, Hydrogeologist, kézirat.

*Szegediné Darabos E., Tóth M., Lénárt L.* (2014). Karsztvízkészlet-meghatározás módszertani fejlesztése a Bükk példáján. XVI. Bányászati, Kohászati és Földtani

Konferencia, Székelyudvarhely, Románia, 248-252.

*Szegediné Darabos E., Lénárt L., Tóth M., Miklós R., Hernádi B., Czesznak L.* (2015). A Bükk karsztvízei. *Mérnökiség* 22 (7-8), 7-19.

*Szilágyi G., Böcker T., Schmieder A.* (1980). A Bükk hegység regionális hidrodinamikai képe és karsztvízforgalma. *Hidrológiai Közöny* 60. évf. 2. szám, pp. 50-55.

*Szlabóczky P.* (1988). *Miskolc térsége karsztvízkészletének háttér hidrogeológiai vizsgálata a térségi vízműkapacitások növelése céljából*. Mélyépítési tervező vállalat. Jelentés kézirat, 1988.

*Teslér J., Piukovics J.* (1963). A Miskolci Vízművek és Fürdők 50 éves története, 1913-1963, p. 68 Miskolci Vízművek és Fürdők Vállalat.

## A SZERZŐK

**MIKLÓS RITA** 2016-ban a Miskolci Egyetemen szerzett kitüntetéses hidrogeológus mérnöki diplomát. Jelenleg a Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola PhD hallgatója. Kutatási területe a bükki termálkarszt.



**LÉNÁRT LÁSZLÓ** 1974-ben geológus mérnöki, 1990-ben környezetmérnöki diplomát szerzett. 3 év szén-geológiai, ill. talajmechanikai-hidrogeológiai ipari munkák után került a Miskolci Egyetemre, innen 2016-ban ment nyugdíjba. Címzetes egyetemi tanárként ma is ott oktat, ipari munkákat végez, publikál, szerteágazó szakmai-társadalmi munkát végez. Publikációi száma meghaladja a 300-at, kéziratot jelentései száma hasonló nagyságú. A diplomatervei, a doktori és a PhD értekezése a karszt-és barlangkutatás, főleg a karszthidrogeológia témakörében születtek. Kutatási területei a radonkutatás barlangokban, forrásokban, lakóépületekben, barlangi denevérvédelem, barlangklimatológia- és terápia, karszthidrogeológia- és hidrológia, víz- és vízbázisvédelem, vízkutatás, vízbeszerzés (termálkarsztkút tervezés). Fő szakmai tevékenységének az 1992-ben indított Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) létrehozását, mai napig tartó folyamatos működtetését, a több, mint 100 mérőhelyen megszerzett mintegy 17.000.000 karsztvízszint/nyomásszint, vízhőmérséklet és vízvezetőképesség adat gyűjtését, rendszerezését, felhasználását, szakmai közkinccsé tételét tartja.

**DARABOS ENIKŐ** A Miskolci Egyetemen szerzett környezetmérnöki diplomát 2009-ben. Oktatói, kutatói pályája során a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Tanszékén dolgozik. 2017-ben PhD doktori címet szerzett, kutatási területe a Bükk hegység hidegkarszt rendszere.

**KOVÁCS ATTILA** nemzetközileg elismert és idézett geológus és hidrogeológus, aki mind az alap kutatásban, mind pedig az iparban kiterjedt tapasztalatokkal rendelkezik. Több tucat nemzetközi publikáció szerzője, egyetemi óraadó. Fő kutatási területe a karszthidrogeológia és numerikus modellezés, valamint geotermia és a klímaváltozás vizsgálata. Emellett széleskörű tapasztalatokat szerzett a hidraulikai és transzportmodellezés, ivóvízbázis védelem, kármentesítés, bányászati hidrogeológia, geotechnika, radioaktív és kommunális hulladéklerakók hidrogeológiai vizsgálata terén. 1998-ban végzett az ELTE geológus szakán, majd 2003-ban doktorált a Neuchateli Egyetemen, Svájcban. Több országban dolgozott (Magyarország, USA, Svájc, Új-Zéland, Ausztrália), és mint főhidrogeológus mintegy félszáz ipari és kutatási projektben vett részt.

**CZESZNAK LÁSZLÓ** 1987-ben bányamérnöki diplomát, 1991-ben okleveles mélyfúrás geofizikus szakmérnöki, 2001-ben környezetvédelmi szakmérnöki képesítést szerzett. 1987-1997 között az Észak-magyarországi Regionális Vízműveknél, majd 2003-ig az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóságon dolgozott. 2004-től az Észak-magyarországi Vízügyi Felügyelet osztályvezetője, 2005-től különböző szervezeti formációkban vezető-főtanácsosként vízügyi hatósági feladatokat látott el. 2018-tól a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság felszín alatti vízkészlet-gazdálkodási referense. A vízgazdálkodás szinte valamennyi területén szerzett tapasztalatokat, fő szakterülete a felszín alatti vizekkel történő gazdálkodás, illetve a felszín alatti vizek, vízbázisok védelme.

**PELCZÉDER ÁGNES** 2000-ban a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerzett kémiai mérnök diplomát. 2011 óta a PannErgy Nyrt-nél dolgozik vízbiztonsági és környezetbiztonsági menedzserként. Részt vesz a geotermikus rendszerek üzemeltetési folyamataiban, vízkezelésben, termálkutatás tesztelésében és üzemeltetésében.

**SZÚCS 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 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. Publikációinak száma több mint 500. 1998-tól a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

## Parti szűrésű vízbázisok természetes radioaktivitása nuklidspecifikus mérések tapasztalatai alapján

Csondor Katalin\*, Baják Petra\*, Heinz Surbeck\*, Izsák Bálint\*\*, Horváth Ákos\*\*\*, Vargha Márta\*\*, Pándics Tamás\*\*, Erőss Anita\*

\*Eötvös Loránd Tudományegyetem, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Tóth József és Erzsébet Hidrogeológia Professzúra és Alapítvány, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C. (E-mail: csondorkata@caesar.elte.hu)

\*\*Nemzeti Népegészségügyi Központ, 1097 Budapest, Albert Flórián út 2-6.

\*\*\*Eötvös Loránd Tudományegyetem, Atomfizikai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

### Kivonat

Az elmúlt években hazánkban a szolgáltatott ivóvíz szigorú minőségi paramétereinek közé került a radon és a trícium mellett az ivóvíz további radioaktív izotóp tartalmára utaló indikatív dózis, melyet leggyakrabban összesalfa és összesbéta aktivitás vizsgálatával határoznak meg. Az ivóvízellátásban fontos szerepet játszó felszínalatti vizekben oldott állapotban leggyakrabban az urán, rádium és radon izotópjai fordulnak elő. Ezen izotópok mobilitását nagyban meghatározza a geokémiai környezet, ami szisztematikusan változik a felszín alatti térrészben, mégpedig a felszínalatti vízáramlási viszonyok függvényében. Azaz a hidrogeológia kulcsfontosságú szerepet tölt be a radionuklidok koncentrált megjelenésének kedvező területek/környezetek lehatárolásában. Jelen tanulmányban egy olyan vízbázis kerül bemutatásra, ahol az ivóvízellátás parti szűrésű kutakból történik. A vizsgálati területen a szolgáltatott ivóvízben mért összesalfa-aktivitás több esetben is meghaladta a vonatkozó 0,1 Bq/l vizsgálati szintet. Ez indokolta az alábbi kutatást, melynek célja az emelkedett összesalfa-aktivitásért felelős radionuklid meghatározása és eredetének feltárása volt. A felszíni és felszínalatti víztestekből származó vízmintákban az urán és rádium aktivitás Nucfilm diszkeket alkalmazó alfa-spektrometriával, a radon aktivitás pedig TriCarb 1000 TR folyadékszcintillációs detektorral került meghatározásra. A nuklidspecifikus mérések eredményeit a felszínalatti vízáramlási rendszerek, valamint a felszíni és felszínalatti vizek közti kapcsolat ismeretében értelmeztük. A kapott eredmények rávilágítottak arra, hogy a parti szűrésű vízbázisok a folyó vízszintingadozásainak köszönhetően időben változókéony rendszerek, ezt a tulajdonságukat pedig figyelembe kell venni az ivóvízellátó rendszerek és a vízminőség-ellenőrzési stratégiák kialakításakor.

### Kulcsszavak

Természetes radioaktivitás, ivóvíz, parti szűrés, felszínalatti vízáramlási rendszer.

## Natural radioactivity of river bank filtered water systems based on the experience of nuclide-specific measurements

### Abstract

Following the water quality recommendations of the EU, the radionuclide content of drinking water is measured along with other water quality parameters in Hungary. A few years ago in addition to radon and tritium activity, gross alpha and beta activity measurements became mandatory. These parameters are indicative for the total radionuclide content of analysed drinking water. In groundwater, which plays an important role in drinking water supply, uranium, radium and radon isotopes are the most common. Their mobility mainly depends on the geochemical environment, which characteristics change systematically in the subsurface as a function of groundwater flow conditions. Consequently, hydrogeology plays a key role in delineating areas where favourable conditions exist for elevated radionuclide content in groundwater. In the following study the drinking water supply relies on river bank filtered sources. In the study area, gross alpha activity, measured on the supplied drinking water, exceeded the screening level of 0.1 Bq L<sup>-1</sup> multiple times. These results gave the purpose of our research which is aimed at determining which radionuclide is responsible for elevated gross alpha activity and where does it come from. In water samples collected from surface and groundwater bodies, uranium and radium activity were determined by alpha spectrometry using Nucfilm discs, while radon activity was measured by a TriCarb 1000 TR liquid scintillation detector. The results of the nuclide-specific measurements were evaluated in the framework of groundwater flow systems and the interactions between surface and groundwater bodies. The obtained results revealed that river bank filtered water bodies are transient systems due to the water level fluctuations of the river, and this knowledge should be taken into consideration during the development of drinking water supply systems and water quality monitoring programs.

### Keywords

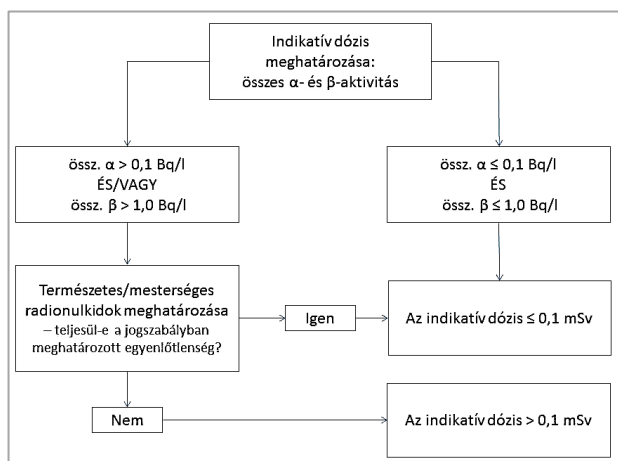
Natural radioactivity, drinking water, river bank filtered, groundwater flow system.

### BEVEZETÉS

Az ivóvízellátás világszerte nagy arányban támaszkodik felszínalatti vízkészletekre, így Európában 75%-ban (EC 2008), míg Magyarországon 88%-ban kerül ki az ivóvíz felszínalatti vízből (*Nemzeti Vízstratégia 2017*). Az ivóvíz minőségi követelményeit és az ellenőrzés rendjét az 98/83/EK irányelven alapuló 201/2001 (X.25) Kormányrendelet szabályozza. Az elmúlt pár évtizedben kapott nagyobb figyelmet az ivóvizek radionuklid tartalma, mint a

fogyasztóra nézve lehetséges veszélyforrás. Így a WHO ajánlása alapján az Európai Unióban a 2013/51/Euratom irányelvben bevezették az ivóvizek radiológiai szempontú ellenőrzését is. Magyarországon ezt az irányelvet a 201/2001 (X.25) és annak módosítása a 313/2015 (X.28) Kormányrendelet tartalmazza. Ez alapján 2015 óta Magyarországon is rendelet írja elő sok más vízminőségi paraméter mellett az ivóvizek természetes radioaktivitásának vizsgálatát indikatív dózis, radon és trícium mérések for-

májában. A trícium és a radon esetében a vonatkozó parametrikus érték egyaránt 100 Bq/l. Az indikatív dózis jogszabályi meghatározás szerint a természetes és mesterséges eredetű radionuklidoknak az egy év alatt beépült lekötött effektív dózisa ivóvízben nem haladhatja meg a 0,1 mSv-t. Amennyiben bármely komponens esetében parametrikus érték feletti az eredmény vizsgálni szükséges, hogy a komponensnek az ivóvízben való jelenléte beavatkozást igénylő kockázatot jelent-e az emberi egészségre nézve, és szükség esetén korrekciós intézkedéseket kell tenni annak érdekében, hogy a víz minősége olyan mértékben javuljon, hogy megfeleljen az emberi egészség védelmére vonatkozó követelményeknek. Az indikatív dózis meghatározására a jogszabály több stratégiát is megenged: radionuklidok vizsgálata vagy az összesalfa-aktivitás és az összesbéta-aktivitás mérése. Amennyiben az összesalfa-aktivitás kisebb, mint 0,1 Bq/l, az összesbéta-aktivitás pedig kisebb, mint 1,0 Bq/l feltételezhető, hogy az indikatív dózis 0,1 mSv alatti. Amennyiben bármelyik meghaladja a vonatkozó vizsgálati szintet, nuklidspecifikus mérések elvégzése szükséges. A vizsgálandó természetes és mesterséges radionuklidokat szintén meghatározza a 201/2001 (X.25.) Kormányrendelet. Az indikatív dózis meghatározásának menetét szemlélteti az 1. ábra. A radionuklid meghatározás után vizsgálni szükséges, hogy a jogszabályban meghatározott egyenlőtlenség teljesül-e, miszerint a radionuklid megfigyelt koncentrációjának és a radionuklid származtatott koncentrációjának hányadosa kisebb vagy egyenlő, mint 1. Amennyiben igen, feltételezhető, hogy az indikatív dózis 0,1 mSv alatti, ha nem, meg kell határozni a tényleges indikatív dózist, illetve meg kell hozni a szükséges intézkedéseket a csökkentésre.



1. ábra. Az indikatív dózis meghatározásának folyamatábrája  
Figure 1. Flow chart for determining the indicative dose

Tehát amennyiben ezeknek a méréseknek az eredménye összesalfa-aktivitás tekintetében a 0,1 Bq/l (100 mBq/l) és/vagy az összesbéta-aktivitás esetén az 1 Bq/l (1000 mBq/l) értéket meghaladja, nuklidspecifikus mérések elvégzésére van szükség, amellyel feltárható, melyik nuklid felelős a megemelkedett aktivitásért, illetve ezek segítségével határozható meg az indikatív dózis és a fogyasztókra gyakorolt egészséghatás. Az összesalfa- és az összesbéta mérések ugyanis – általánosan alkalmazott szűrőműszerként – csak az összes alfa-, illetve bétasugárzó radionuklid együttes koncentrációját adják meg. Mindemmel az elmúlt években számos tanulmány foglalkozott

az összesalfa- és összesbéta-aktivitás módszerek mérési bizonytalanságával, ami eredhet az analitikai módszerek különbségéből (minta előkészítés, mérési folyamatok) (Arndt és West 2004, Jobbágy és társai 2010, Jobbágy és társai 2014, Montaña és társai 2012, Rusconi és társai 2006, Semkow és társai 2004), illetve a vízminta természetes tulajdonságaiból (különböző izotópok egyidejű megjelenése, magas oldott anyag tartalom, magas nitrát-, vas-koncentráció) (Jobbágy és társai 2010 és 2014). Jelen tanulmány célja, hogy egy új megközelítéssel, hidrogeológiai és áramlási rendszer szemléletben vizsgálja a felszínalatti vizek természetes radioaktivitását, melynek segítségével lehetőség nyílik előre jelezni az egyes radionuklidok koncentrált előfordulásának kedvező feltételeket és területeket. Mindemmel a nuklidspecifikus mérések során beazonosított radionuklidok geokémiai viselkedésének ismeretében feltárható azok eredete, valamint a geológiai felépítés, az áramlási rendszerek és a természetes radionuklidok előfordulása közötti kapcsolat, mely szintén a biztonságos, fenntartható ivóvízellátást segítené elő. Továbbá cél volt a már korábbi összesalfa- és összesbéta-aktivitások időbeli változásának háttérben álló folyamatok azonosítása. A nuklidspecifikus mérések, valamint e mérések értelmezése a hidrogeológiai rendszer feltérképezésének segítségével egy új irányvonalat képvisel a felszínalatti vizek természetes radioaktivitásának kutatásában (Erőss és társai 2012 és 2019, Erőss 2020).

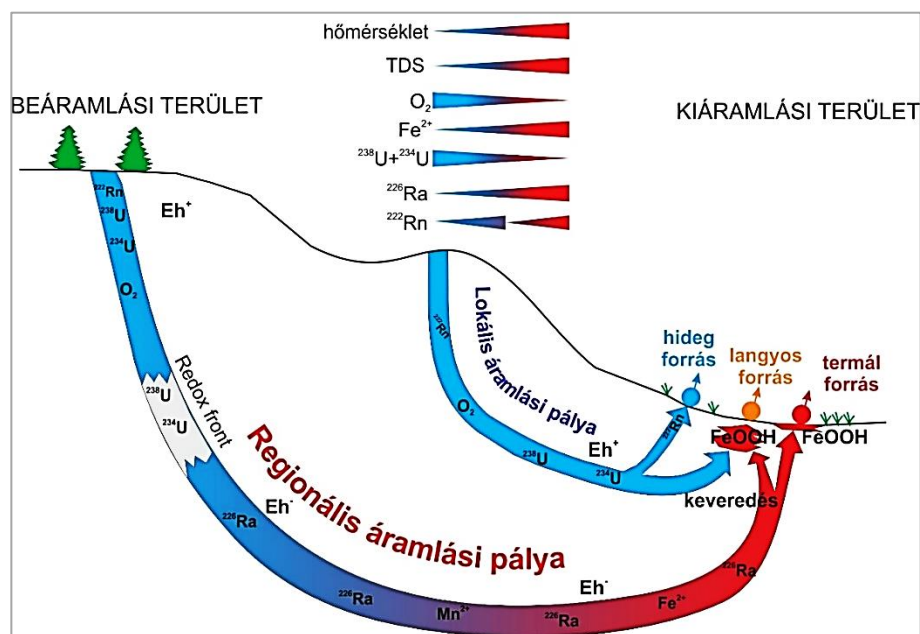
## RADIONUKLIDOK A FELSZÍNALATTI VIZEKBEN

A felszínalatti víz, mint földtani hatótényező, útja során kölcsönhatásba lép környezetével, ezáltal képes anyagot mobilizálni, szállítani és lerakni, ami igaz a radioaktív elemek esetében is (Tóth 1999). Az urán és tórium bomlási sor elemei közül a  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  alfa-bomló elemek fordulnak elő leggyakrabban a felszínalatti vizekben oldva (Bourdon és társai 2003, Hoehn 1998, Porcelli és Swarzenski 2003, Swarzenski 2007, Skeppström és Olofsson 2007). Ezek az elemek eltérő geokémiai viselkedésük alapján az áramlási rendszerek különböző részeire jellemzőek, ezáltal természetes nyomjelzőként is használhatók a felszínalatti vízáramlás irányának, rendűségének vizsgálatakor, így az ivóvizek megemelkedett természetes radioaktivitásának hidrogeológiai szempontú vizsgálatában is jól alkalmazhatók (2. ábra). Az urán és a rádium geokémiai viselkedése nagyban függ a redox viszonyoktól, ezért a fennálló geokémiai környezet határozza meg, hogy az áramlási rendszer mely pontján jelennek meg oldott állapotban (Dickson 1990, Porcelli és Swarzenski 2003). Az urán oxidatív körülmények között, semleges közeli pH-n mobilis. A felszínalatti vízzel történő szállítását elősegíti továbbá, hogy szervesanyagokkal, karbonátokkal, foszfátokkal és hidroxiddal komplexeket alkot (Bourdon és társai 2003). Ilyen körülmények között leggyakrabban U(VI) állapotban,  $(\text{UO}_2^{2+})$ -ként van jelen a felszínalatti vizekben (Chabaux és társai 2003, Sheppard 1980). Oxidatív körülményeket főként beáramlási területeken, illetve lokális áramlási ágak mentén tapasztalhatunk, így magas urán koncentrációval ezeken a területeken számolhatunk. A rádium ezzel szemben redukzív és savas környezetben válik mobilissá (Albu és társai 1997, Ames és társai 1983, Dickson 1990, Langmuir és Riese



1985, Martin és társai 2003, Szabo és Zapeca 1991), mivel oxidatív körülmények között könnyen megkötődik mangán- és vas oxidok/hidroxidok felületén (Ames és társai 1983). Tehát a felszínalatti vízáramlási rendszereknek olyan részein lesz jellemző, ahol redukzív viszonyok uralkodnak, azaz regionális áramlási ágak mentén, vagy azok kiáramlási területein. A radon, a  $^{226}\text{Ra}$  leányeleme, nemesgáz szerkezeténél fogva nem lép reakcióba

sem a vízzel, sem a víztartóval, illetve rövid 3,6 napos felezési idejével hamar elbomlik, így olyan helyeken fordul elő magasabb koncentrációban, ahol közel a forrása, mely a talaj ásványszemcséiben (Eisenlohr és Surbeck 1995, Goldscheider és Drew 2014) és/vagy a mangán- és vas oxidok/hidroxidokon felhalmozódó rádium lehet (Eröss és társai 2012, Kovács-Bodor és társai 2019, Gainon 2008).



2. ábra. Radionuklidok a felszínalatti vízáramlási rendszerekben (Eröss és társai 2014 után módosítva)  
Figure 2. Distribution of radionuclides in the groundwater flow systems (Modified after Eröss és társai 2014)

## ANYAG ÉS MÓDSZER

Magyarországon több kutatás is tárgyalta a felszínalatti vizek, illetve források természetes radioaktivitását (Jobbágy és társai 2010, Somlai és társai 2007, Eröss és társai 2012, 2015 és 2019, Baják 2019, Kovács Bodor és társai 2019), azonban parti szűrésű vízbázison még nem végeztek hasonló vizsgálatokat. Jelen kutatásban egy folyó két különböző pontján üzemelő parti szűrésű vízbázison történtek a mintavételek. Mindkét területen az előzetes eredmények alapján az összesalfa-aktivitás meghaladta a 0,1 Bq/l parametrikus értéket. A vizsgálati területek az illetékes vízmű kérésére nem beazonosítható módon jelennek meg a tanulmányban, ezért "A" és "B" területekként különböztetjük meg őket. "A" terület esetében 2 mintavételi alkalom alatt – a folyó alacsony és magas vízállásánál – 18 mintavételre került sor, melyek közül 17 minta a parti szűrésű kutakat, és egy minta a folyót mintázta. A "B" terület esetében három mintavételi alkalommal 20 mintavétel történt parti szűrésű kutakból, hálózati pontokból, nyilvános kutakból, forrásokból és a folyóból. Az egyes mintavételi pontok pontos elhelyezkedését, részletesebb leírását a beazonosíthatóság elkerülése érdekében nem tesszük közzé.

### Terepi mintavétel

Minden mintavételi pont esetében rögzítésre kerültek a vizek fiziko-kémiai paraméterei (pontosság zárójelben feltüntetve) úgy, mint a hőmérséklet ( $\pm 0,2$ ), vezetőképesség ( $\pm 0,5\%$ ), pH ( $\pm 0,2$ ) és a redox potenciál ( $\pm 20$  mV). A terepi paraméterek rögzítése YSI ProPlus multielektrodás te-

repi műszer segítségével történt. Az általános és nyomelem kémiai vizsgálatokhoz 50 ml-es centrifuga csőbe és 250 ml-es üvegebe kerültek a minták. A rádium és urán minták esetében 250 ml-es PP palackot alkalmaztunk. A radon minták 23 ml-es üveg küvetákba kerültek, amelyek előre 10 ml Optifluor-O szcintillációs koktéllal voltak töltve, ebbe került a 10 ml vízminta a helyszínen.

### Laboratóriumi mérések

Az általános- és nyomelem kémiai mérések a Nemzeti Népegészségügyi Központ Környezetegészségügyi Vizsgáló Laboratóriumában zajlottak ICP-MS (iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific, Germany), ionkromatográf (DIONEX ICS-5000 + DP, Thermo Scientific, USA) és UV-VIS fotométer (UV-1800, Shimadzu, Japan) készülékekkel a hatályban lévő szabványok alapján. A radon koncentrációk meghatározása Tricarb 1000 TR folyadékszcintillációs készülék segítségével történt az Eötvös Loránd Tudományegyetem Atomfizikai Tanszékén. Az urán és rádium nuklidspecifikus mérésekhez Magyarországon egyedülálló mérési módszert alkalmaztunk. A mérésekre az Eötvös Loránd Tudományegyetem Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékének Müller-Surbeck laboratóriumában került sor, speciális Nucfilm diszketek alkalmazó alfa-spektrometriával (Surbeck 2000). A speciális diszkek segítségével lehetőség nyílik a többi analitikai módszerhez képest gyorsan és költséghatékonyan meghatározni az egyes nuklidok aktivitáskonzentrációit. A minták előkészítéséhez elegendő mindössze 0,1 liter víz, ez-

után pedig csak EDTA-t (a rádium esetében), és hangyasavat (az urán esetében) kell adni a vízmintához. Mindezek alapján az előkészítés gyors és nem igényel költséges analitikai eljárásokat. Az urán aktivitás méréséhez használt diszk anyaga polikarbonát, epoxigyanta bevonattal, míg a rádium aktivitás meghatározásához poliamid anyagú, mangán-oxid bevonatú diszket használtunk. A diszkek különböző felületi bevonatuknak köszönhetően a 24 órás expozíciós idő alatt szelektív módon képesek az urán és rádium izotópokat adszorbeálni a vízből (*Surbeck 2000*). A minták előkészítését követően a minták aktivitáskoncentráció értékei alfa-spektrométer segítségével határozhatók meg. A jelenleg alkalmazott mérés az összes urán ( $^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$ ) és a  $^{226}\text{Ra}$  mérését teszi lehetővé 5 mBq/l kimutatási határral.

### EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE

A két mintavételi helyszín terepi, illetve nuklidspecifikus méréseinek eredményeit külön értékeljük, illetve a folyó különböző vízállásai tükrében értelmezzük. Az alacsony és magas vízállások mindkét terület esetében az éves átlag vízálláshoz képest értendők. Az általános- és nyomelem kémiai mérések eredményei külön részletesen nem kerülnek tárgyalásra, csak a radionuklidok mérési eredményei. Mivel az egyes radionuklidokra külön nincs meghatározva

egészségügyi határérték, ezért az összesalfa-aktivitásra vonatkozó 0,1 Bq/l parametrikus értékhez viszonyítva értelmezzük az eredményeket. Az eredmények az urán és a rádium tekintetében mBq/l-ben, a radon esetében Bq/l-ben kerülnek bemutatásra, a 0,1 Bq/l érték 100 mBq/l értéknek felel meg.

Az "A" terület parti szűrési kútjainak terepi és nuklidspecifikus mérési eredményeinek leíró statisztikáját az 1. és 2. táblázat tartalmazza. A parti szűrési kutak esetében a vezetőképesség 455-1275  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a pH 7 és 7,8, a redox potenciál pedig -91 és 187 mV értékek közötti tartományt, a nuklidspecifikus mérések közül a  $^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$ : 15 – 253 mBq/l;  $^{226}\text{Ra}$ : <5 – 38 mBq/l;  $^{222}\text{Rn}$ : <5 – 36 Bq/l aktivitáskoncentráció tartományt képviseltek. Az eredmények alapján csak a  $^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$  értékek haladták meg a viszonyítási alapul vett 0,1 Bq/l összesalfa parametrikus értéket. Magas folyó vízállásnál alacsonyabb vezetőképesség értékek (455-958  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (1. táblázat), míg alacsony vízállásnál magasabb értékek voltak jellemzőek (489-1275  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (2. táblázat). Az urán aktivitás koncentráció értékek szintén eltérőek voltak a folyó különböző vízállásainál, alacsony vízállásnál magasabb (22-253 mBq/l), míg magas vízállásnál alacsonyabb (15-57 mBq/l) értékek jelentek meg.

1. táblázat. Az "A" kutatási terület parti szűrési kútjaiból származó vízminták terepi paramétereinek- és nuklidspecifikus eredményeinek leíró statisztikája alacsony folyó vízállásnál

Table 1. Descriptive statistic of in-situ and nuclide-specific measurement results of river bank filtered wells of area „A” in low river water level conditions

	Hőm. [°C]	EC [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	pH	ORP [mV]	$^{222}\text{Rn}$ [Bq/l]	$^{226}\text{Ra}$ [mBq/l]	$^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$ [mBq/l]
Átlag	12	870	7,5	62	14	8	108
Szórás	1	290	0,2	64	5	10	66
Min.	11	489	7,1	-91	9	<5	22
Max.	16	1275	7,8	144	29	38	253

2. táblázat. Az "A" kutatási terület parti szűrési kútjaiból származó vízminták terepi paramétereinek és nuklidspecifikus eredményeinek leíró statisztikája magas folyó vízállásnál

Table 2. Descriptive statistic of in-situ and nuclide-specific measurement results of river bank filtered wells of area „A” in high river water level conditions

	Hőm. [°C]	EC [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	pH	ORP [mV]	$^{222}\text{Rn}$ [Bq/l]	$^{226}\text{Ra}$ [mBq/l]	$^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$ [mBq/l]
Átlag	11	618	7,1	118	15	6	45
Szórás	2	139	0,1	75	6	5	23
Min.	7	455	7,0	-51	10	<5	15
Max.	13	958	7,2	187	36	22	105

A "B" kutatási terület terepi és nuklidspecifikus mérési eredményeinek leíró statisztikáját a 3. és 4. táblázat tartalmazza. A terepi paraméterek tekintetében a vezetőképesség 332-814  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a pH 6,9-9,1 és a redox potenciál értékek 181-784 mV között alakultak (3. táblázat). A radionuklidok tekintetében az értékek az alábbi tartományokban mozogtak:  $^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$ : 27-150 mBq/l;  $^{226}\text{Ra}$ : <5 mBq/l;  $^{222}\text{Rn}$ : <5-10 Bq/l. A nuklidspecifikus mérési eredmények alapján ezen a területen is a  $^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$  aktivitás koncentráció értékek haladják meg a viszonyítási alapul

vett 0,1 Bq/l összesalfa értéket. Magas folyó vízállásnál a vezetőképesség értékek alacsonyabb értékeket (332-631  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) képviselnek (3. táblázat), mint alacsony vízállásnál (401-814  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (4. táblázat). A  $^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$  aktivitás koncentráció értékei szintén alacsonyabbak (27-107 mBq/l) voltak a folyó magas vízállásnál az alacsony vízállásnál mért értékekhez képest (29-150 mBq/l), azonban nem akkora arányban, mint az „A” terület esetében. A rádium aktivitás koncentráció értékek minden esetben a kimutatási határ alá estek.

3. táblázat. A „B” kutatási területről származó vízminták terepi paramétereinek- és nuklidspecifikus eredményeinek leíró statisztikája alacsony folyó vízállásnál

Table 3. Descriptive statistic of in-situ and nuclide-specific measurement results of area „B” in low river water level conditions

	Hőm. [°C]	EC [μS/cm]	pH	ORP [mV]	<sup>222</sup> Rn [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [mBq/l]	<sup>234</sup> U+ <sup>238</sup> U [mBq/l]
Átlag	12	652	7,7	479	5	<5	76
Szórás	2	115	0,7	239	<5	<5	32
Min.	9	401	6,9	181	<5	<5	29
Max.	14	814	9,1	784	10	<5	150

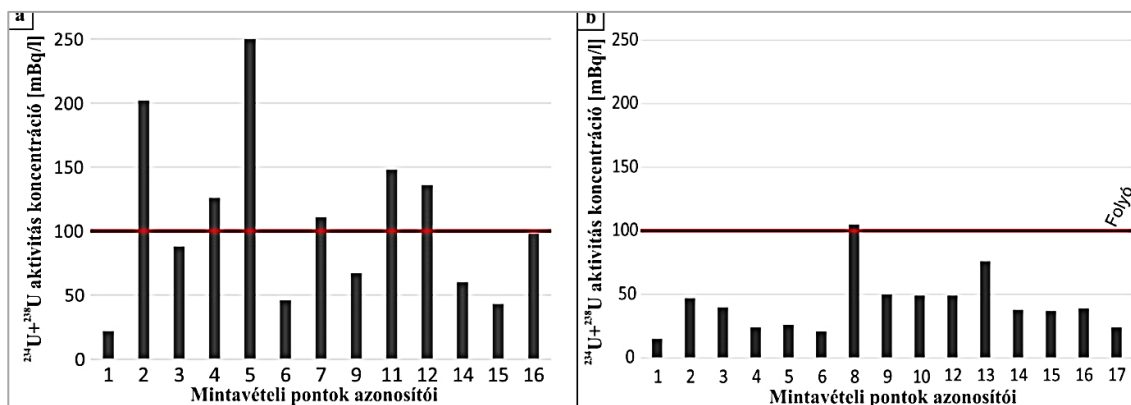
4. táblázat. A „B” kutatási területről származó vízminták terepi paramétereinek- és nuklidspecifikus eredményeinek leíró statisztikája magas folyó vízállásnál

Table 4. Descriptive statistic of in-situ and nuclide-specific measurement results of area „B” in high river water level conditions

	Hőm. [°C]	EC [μS/cm]	pH	ORP [mV]	<sup>222</sup> Rn [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [mBq/l]	<sup>234</sup> U+ <sup>238</sup> U [mBq/l]
Átlag	17	567	7,7	278	<5	<5	75
Szórás	3	105	0,3	80	<5	<5	26
Min.	13	332	7,3	196	<5	<5	27
Max.	19	631	8,2	397	9	<5	107

Az eredmények alapján az „A” terület tekintetében a mintázott parti szűrési vizek kémiai karaktere és radionuklid tartalma változott a folyó vízállásának függvényében, azaz attól függően, hogy milyen arányban keveredett a felszínalatti és a folyóból származó víz a kutakban. Magas folyó vízállásnál a vezetőképesség értékek alacsonyabbá váltak (455-958 μS/cm), jelezvén a felszíni víz dominanciáját, míg alacsony vízállásnál – amikor a háttér felől érkező felszínalatti vizek aránya nagyobb lett – a vezetőképesség értékek megnöttek (489-1275 μS/cm). A redox

potenciál értékek a magas vízállású időszakban az oxidatív tartomány felé tolódtak el az alacsony vízállású időszakhoz képest, rendre (-51-187 mV) – (-91-144 mV). A parti szűrési kutak nuklidspecifikus eredményei alapján megállapítható, hogy az urán aktivitáskoncentráció értékek járulnak hozzá leginkább a megemelkedett összesalfa-aktivitáshoz. A mért urán aktivitáskoncentráció értékek szisztematikusan magasabbak voltak a folyó alacsony vízállásánál (3.a ábra), míg alacsonyabbak a folyó magasabb vízállásánál (3.b ábra).



3. ábra. <sup>234</sup>U+<sup>238</sup>U aktivitáskoncentráció értékek az „A” kutatási területen: a, alacsony b, magas vízállásnál. A piros vonal az összesalfa-aktivitás megengedett parametrikus értéket jelöli az ivóvizekben

Figure 3. <sup>234</sup>U+<sup>238</sup>U activity concentrations in research area „A” a, in low b, in high river water level conditions. The red line indicates the screening level value of the gross alpha activity in drinking water

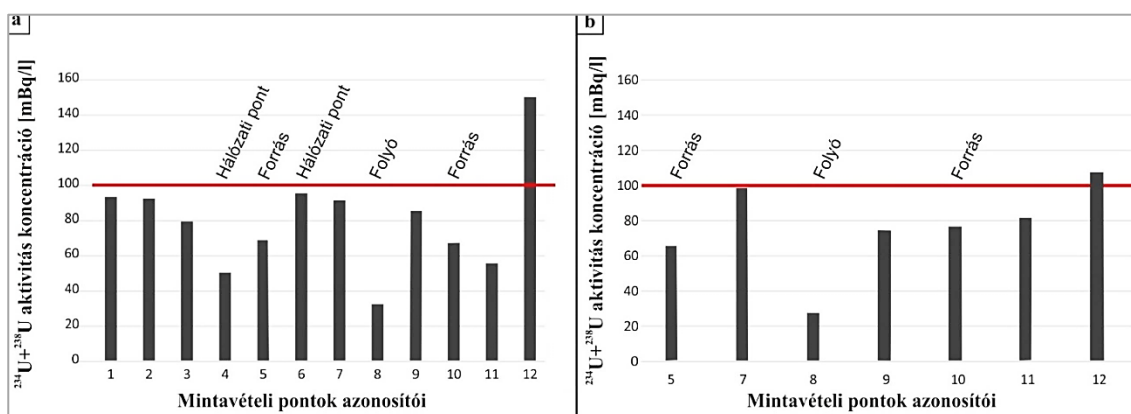
A „B” területen az „A” területhez hasonlóan a mintázott kutak vízkémiai karaktere változott a folyó vízállásától függően. A mintázott források vízkémiai karaktere nem függ a folyó vízállásától. A források felmérésével a háttér felől érkező felszínalatti vizek természetes radioaktivitásának felmérése volt a cél. Alacsony vízállásnál a vezetőképesség értékek magasabbak voltak (401-814 μS/cm), magas vízállásnál azonban alacsonyabbak (332-631 μS/cm). A redox potenciál értékeknél ugyanez a tendencia volt megfigyelhető, az értékek minden esetben oxidatív tartományba estek. A „B” területen szintén az urán tehető fele-

lőssé a megemelkedett aktivitásért, itt az értékek több esetben is a 100 mBq/l-es érték közelében mozogtak (4.a és 4.b ábra). Az aktivitáskoncentráció értékekben a folyó különböző vízállásánál nem figyelhető meg akkora változás, mint az „A” terület parti szűrési kútjainál, azonban ezen a területen is elmondható, hogy alacsony folyó vízállásnál magasabb urán aktivitás értékek (29-150 mBq/l) jelentek meg, mint magas folyó vízállásnál (27-107 mBq/l). A parti szűrési kutakon túl mintázott felszíni, illetve felszínalatti vizek, úgy mint a folyó, illetve a területen található források aktivitás koncentráció értékei között nem volt hibaha-



táron kívüli változás a különböző folyó vízállásoknál. Bár mindkét területen voltak olyan kutak, ahol az egyes radionuklidok eredményei meghaladták a 100 mBq/l parametrikus határértéket, azonban egyik esetben sem érték el az egyes nuklidokra érvényben lévő származtatott koncentrációt. Ennek alapján az adott nuklidra nézve, 730 liter éves vízfogyasztást feltételezve lenne elérhető a 0,1 mSv dózis. Ez a  $^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$  esetében 5800 mBq/l, a  $^{226}\text{Ra}$  esetében 500 mBq/l. A nuklidspecifikus mérések eredményei egyik esetben sem haladták meg a származtatott koncentrációk értékeit.

Az „A” területen különböző kutaknál azonban nem csak időbeli, de területi eloszlásban is különbség van az egyes kutakban mért aktivitásértékek között attól függetlenül, hogy ugyanazon vízadó rétegre és eleváció tartományra vannak szűrőzve, és egymástól mintegy 10-10 méterre helyezkednek el. Ennek oka az lehet, hogy a kutak a folyó természetes árterébe mélyültek, amelynek földtani felépítésére inhomogenitás jellemző. Ezekben az ártéri üledékekben előfordulhatnak szervesanyag lerakódások, melyek forrásául szolgálhatnak az uránnak (Pregler és társai 2019, Cumberland és társai 2016).

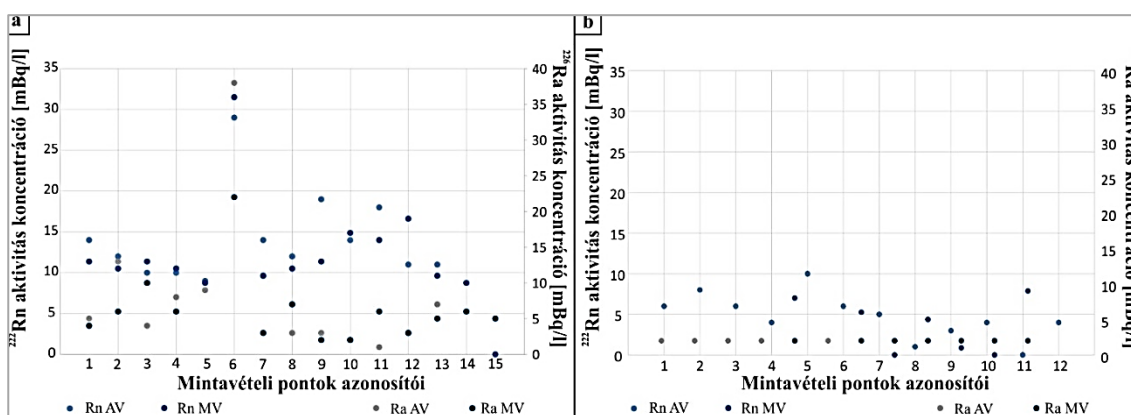


4. ábra.  $^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$  aktivitáskonzentráció értékek a „B” kutatási területen: a: alacsony b: magas vízállásnál (Megjegyzés: A piros vonal az összesalfa-aktivitás megengedett parametrikus értéket jelöli az ivóvizekben.)

Figure 4.  $^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$  activity concentrations in research area „B”: a: in low, b: in high river water level conditions (Note: The red line indicates the screening level value of the gross alpha activity in drinking water)

A rádium és radon eredményekről mindkét területen elmondható, hogy az értékek a radon esetében a 100 Bq/l, rádium esetében pedig a 100 mBq/l érték alatt maradnak (5.a és 5.b ábra). Az „A” terület egy mélyebb rétegre szűrőzött kútjában volt magasabb rádium és radon koncentráció 22-38 mBq/l és 29-36 mBq/l értékekkel (5.a ábra),

amihez -67 mV-al redukív viszonyok párosultak. Reduktív körülmények között a rádium mobilitása magasabb szemben az uránnal. A redukív környezet abból eredeztethető, hogy a kút egy magasabb áramlási ágat csapol meg, azonban a folyó hatása is érvényesül, ami a változó urán koncentrációkban is megnyilvánul.



5. ábra.  $^{226}\text{Ra}$  és  $^{222}\text{Rn}$  aktivitáskonzentráció értékek az egyes mintavételi pontokon.

„a” ábra az „A” kutatási területen; „b” ábra „B” kutatási területen (Jelmagyarázat: MV – Magas vízállás; AV – alacsony vízállás)

Figure 5.  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{222}\text{Rn}$  activity concentration values at each sampling point.

“a” part in research area “A”; “b” part in research area „B”

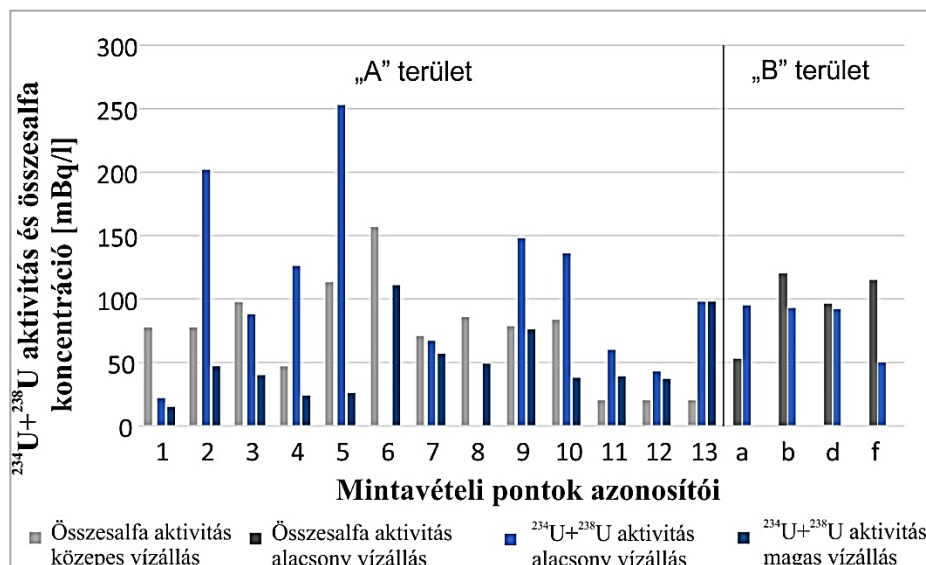
(Legend: MV – high water level; AV – low water level)

A kapott mérési eredményeket a vízművek által rendelkezésünkre bocsátott összesalfa-aktivitáskonzentráció értékekkel is összehasonlításra kerültek. Mivel a nuklidspecifikus mérések eredményei alapján a  $^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$  koncentráció értékei járultak hozzá leginkább a megemelkedett összesalfa-aktivitáshoz ezért csak ezeket az értéket tárgyaljuk. Mindkét vízbázis tekintetében csak egy

mintavétel történt összesalfa vizsgálatokra az „A” terület esetén a folyó közepes vízállásánál, a „B” terület esetében pedig a folyó alacsony vízállásánál. Az „A” terület parti szűrésű kútjainak közepes vízállásánál mért összesalfa eredményeinél jól látszik (6. ábra), hogy azok nem fednek át a magas és alacsony vízállásnál mért nuklidspecifikus eredményekkel az alábbi kutak esetén: #1, #3, #7, #11,

#13. Egyes kutak esetében az összesalfa értékek elmaradnak a nuklidspecifikus eredmények várható értékeihez képest (#11-#13). Ugyanez észlelhető a „B” terület „a” jelű kútjánál is, ahol az alacsony vízállásnál mért összesalfa eredmények alacsonyabb értéket mutattak, mint a maga-

sabb vízállásnál mért nuklidspecifikus eredmények. Több esetben (#1, #3, #7) pedig a közepes vízállásnál mért összesalfa értékek (78 és 158 mBq/l) jóval meghaladják az alacsony vízállásnál mért urán értékeket (22-46 mBq/l), ahol a magasabb urán koncentrációk a jellemzőek.



6. ábra. A vízmű által rendelkezésre bocsajtott összesalfa-aktivitás értékek összevetése a nuklidspecifikus mérések eredményeivel  
Figure 6. Archival gross alpha activity measurements provided by the waterwork compared with nuclide-specific measurements

## KÖVETKEZTETÉSEK

Az eredményekből arra következtethetünk, hogy alacsony vízállás esetén a termelő parti szűrésű kutakban a háttérből érkező felszínalatti víz van túlsúlyban, aminek feltételezhetően magasabb az urán tartalma, amit a felszíni víz a folyó alacsony vízállása miatt nem tud hígítani. Magas vízállás esetén azonban nagyobb arányban kerül a kutakba a folyó vize, ami ebből kifolyólag hígítani képes a felszínalatti víz magasabb urán tartalmát, így csökken a kutakban a mért aktivitás (3. ábra). A folyó vízállásától függő változások mellett fontos megjegyezni, hogy nem csak az urán forrásának a közelsége a fontos, hanem a felszínalatti víz mobilizáló, szállító szerepe. Ez pedig a felszíni és a felszínalatti vizek kapcsolatának függvényében, különböző vízállásoknál különböző mértékben jelenik meg a területen. A nuklidspecifikus mérések elvégzése és értékelése mellett a tanulmány hangsúlyt fektetett a kapott nuklidspecifikus mérések és a rendelkezésre álló összesalfa és összesbéta eredmények összevetésére. Ezek az eredmények megerősítik az összesalfa és összesbéta módszerek bizonytalanságát, amiről az Európai Unió Közös Kutatóközpontja által szervezett körmérés eredményei is beszámolnak (Jobbágy és társai 2015). A körmérés eredményei feltárták, hogy több esetben nagyságrendekkel eltérő eredmények születtek a referencia értékekhez képest a különböző laboratóriumokban (Jobbágy és társai 2015). Ezen eredményekkel összhangban a jelen kutatás, valamint Eröss és munkatársainak (2019) tanulmánya is azt hangsúlyozza, hogy csak a nuklidspecifikus mérések eredményei nyújtanak megfelelő alapot – a geológiai háttér, az áramlási rendszerek vizsgálatával együtt – a felszínalatti vizek természetes radioaktivitásának megértéséhez és a rendeletben szabályozott értékeknek való megfelelés megítéléséhez.

Az eredmények alapján a parti szűrésű rendszerek-nél az összesalfa- és összesbéta-aktivitás monitoringozásánál fontos figyelembe venni a rendszer tranziens viselkedését és ehhez igazítani a mintázásokat, mivel egy adott időpillanat nem reprezentatív a rendszer egészét illetően. Érdemes figyelni azokra a kutakra, melyek alacsony folyóvízállás esetén magasabb aktivitás értékeket mutatnak, hiszen ezek időszakos ki-kapcsolása jelentősen javíthat a vízminőségen.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen kutatás az ivóvizek természetes radioaktivitását a felszínalatti vízáramlások tükrében értékeli, amely új szemléletet képvisel hazánkban. Mind a felszínalatti vizek, mind pedig a felszíni és felszínalatti víz keveredésével jellemezhető parti szűrésű rendszerek radionuklid tartalmának hidrogeológiai szempontú vizsgálata újszerű megközelítést képvisel, mely segítséget nyújthat az ezekből a vízkészletekből származó ivóvizek természetes radioaktivitásának megértéséhez, oly módon, hogy az adott vízbázis hidrogeológiai viszonyainak megértésével azonosíthatók az emelkedett radionuklid koncentrációknak kedvező környezetek. A leggyakrabban előforduló radioaktív izotópotokat célzó nuklidspecifikus mérések ( $^{234}\text{U}+^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ) szükségessége abban rejlik, hogy ez az egyetlen mód arra, hogy megértsük az összefüggéseket a geológiai háttér, a felszínalatti vízáramlási rendszer és a természetes radioaktivitás jelensége között. Az eredmények alapján elmondható, hogy mindkét vizsgálati területen az urán jelenléte felelős a megemelkedett összesalfa-aktivitásért és a mért értékek több kút esetében meghaladták a 0,1 Bq/l összesalfa parametrikus értéket, azonban nem érik el a 0,1 mSv éves dózis terhelés eléréséhez szükséges származtatott koncentrációt. Emellett mindkét esetben fontos konklúzió, hogy a megemelkedett aktivitásban nagy szerepe

van a felszínalatti vizek áramlási viszonyainak is, a magyarázat nem csupán a terület földtani felépítésében keresendő. Hidrogeológiai módszerek segítségével feltárható az áramlási rendszerek és a magas urán koncentrációk közötti kapcsolat, így ezek együttes alkalmazása megoldást kínálhat a vízműveknek az ivóvíz fogyasztásból származó indikatív dózis csökkentéséhez. A tanulmány eredményei segíthetik a vízművek vízminőség-ellenőrzési gyakorlatának fejlesztését/javítását, ami fontos a fenntartható és biztonságos ivóvíz szolgáltatási stratégia kialakításánál. A parti szűrésű rendszerek tranzienis viselkedésének figyelembevétele a monitoring stratégia kialakításánál fontos szerepet játszhat a biztonságos ivóvízellátás biztosításának érdekében. Összességében a nuklidspecifikus mérések hidrogeológiai szempontú feldolgozása segíti a felszínalatti vizek radioaktivitásának jobb megértését.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti Fehér Fannit a terepen nyújtott segítségéért, illetve az illetékes vízművet a terepi mintázások lebonyolításában.

A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával és az ENeRAG projekt keretein belül készült, amelyet az Európai Unió Horizont 2020 kutatási és innovációs programja támogatott a 810980 azonosító számú támogatási megállapodás alapján.

### IRODALOMJEGYZÉK

*Albu M., Banks D., Nash H.* (1997). Mineral and Thermal Groundwater Resources. 1<sup>st</sup> edn, Chapman and Hall, London, UK.

*Ames L. L., McGarrah J. E., Walker B. A., Salter P. F.* (1983). Uranium and radium sorption on amorphous ferric oxyhydroxide. *Chem. Geol.*, 40, 135–148.

*Arndt M. F., West L.E.* (2004). A study of the factors affecting the gross alpha measurement, and a radiochemical analysis of some groundwater samples from the state of Wisconsin exhibiting an elevated gross alpha activity. In: *Proceedings 51<sup>st</sup> Annual Radiobioassay and Radiochemical Measurements Conference*. Cincinnati, 30 Oct–4 Nov.

*Baják P.* (2019). Felszínalatti vizek természetes radioaktivitásának hidrogeológiai szempontú vizsgálata a Velecei-hegység tágabb környezetében. Diplomamunka, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem.

*Bourdon B., Turner S., Henderson G. M., Lundstrom C. C.* (2003). Introduction to U-series geochemistry. *Rev. Mineral. Geochem.*, 52, 1–21.

*Chabaux F., Riotte J., Dequincey O.* (2003). U–Th–Ra fractionation during weathering and river transport. *Rev. Mineral. Geochem.*, 52(1), 533–576.

*Cumberland, S. A., Douglas, G., Grice, K., & Moreau, J. W.* (2016). Uranium mobility in organic matter-rich sediments: A review of geological and geochemical processes. *Earth-Science Reviews*, 159, 160–185.

*Dickson B. L.* (1990). Radium in groundwater. In: *The Environmental Behaviour of Radium*. International

Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 310, Bécs, Ausztria.

*Eisenlohr, L., Surbeck, H.* (1995). Radon as a natural tracer to study transport processes in a karst system. An example in the Swiss Jura. – *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes*. 321 (2a) pp. 761–767.

*Erőss A., Mádl-Szőnyi J., Surbeck H., Horváth Á., Goldscheider N., Csoma A. É.* (2012). Radionuclides as natural tracers for the characterization of fluids in regional discharge areas, Buda Thermal Karst, Hungary. *J. Hydrol.*, 426–427, 124–137.

*Erőss Anita, Csondor Katalin, Heinz Surbeck, Mádlné Szőnyi Judit, Horváth Ákos, Lénárt László* (2014). Karsztvizek geokémiai jellemzése különös tekintettel a radionuklidokra a Bükk környezetében, XIX. Karsztfejlődés kötet, 77–89.

*Erőss A., Surbeck H., Csondor K., Horváth Á., Mádl-Szőnyi J., Lénárt L.* (2015). Radionuclides in the waters of the Bükk region, Hungary. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 303, 2529–2533.

*Erőss A., Csondor K., Izsák B., Vargha M., Horváth Á., Pándics T.* (2019). Uranium in groundwater – the importance of hydraulic regime and groundwater flow system's understanding. *J. Environ. Radioact.*, 195, 90–96.

*Erőss A.* (2020). Natürliche Radioaktivität im Grundwasser – neue Parameter und Herausforderungen für die Trinkwasserversorgung, *GRUNDWASSER* 25, 111–112

*European Commission* (2008). Groundwater protection in Europe. ISBN: 978-92-79-09817-8.

*Gainon F.* (2008). Les isotopes radioactifs de la série de l'uranium-238 (<sup>222</sup>Rn, <sup>226</sup>Ra, <sup>234</sup>U et <sup>238</sup>U) dans les eaux thermales de Suisse: sites d'Yverdon-les-Bains, Moiry, Loèche-les-Bains, Saxon, Val d'Illiez, Bad Ragaz, Delémont, Lavey-les-Bains, Brigerbad et Combioula, Thèse, CHYN.

*Goldscheider N., Drew D.* (2014). Methods in karst hydrogeology. International contribution to hydrogeology, IAHS. Taylor and Francis/Balkema, London, 264 p. ISBN: 9780367388980

*Hoehn E.* (1998). Radionuclides in groundwaters: contaminants and tracers. In: Herbert M., Kovar K. (eds.): *Groundwater Quality: Remediation and Protection*, IAHS Publication No. 250, IAHS Press.

*Jobbágy V., Kávási N., Somlai J., Dombóvári P., Kardos R., Kovács T.* (2010). Radioanalytical investigations of uranium concentrations in natural spring, mineral, spa and drinking waters in Hungary. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 286(2), 417–422.

*Jobbágy V., Merešová J., Wätjen U.* (2014). Critical remarks on gross alpha/beta activity analysis in drinking waters: conclusions from a European interlaboratory comparison. *Appl. Radiat. Isot.*, 87, 429–434.

*Jobbágy, V., Merešová, J., Dupuis, E., Kwakman, P., Altitzoglou, T., Rožkov, A., Hult, M., Emteborg, H., Wätjen, U.* (2015). Results of a European interlaboratory comparison on gross alpha/beta activity determination in drinking water, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 306(1): 325–331



Kovács-Bodor P., Csondor K., Eröss A., Szieberth D., Freiler-Nagy Á., Horváth Á., Bihari Á., Mádl-Szőnyi J. (2019). Natural radioactivity of thermal springs and related precipitates in Gellért Hill area, Buda Thermal Karst, Hungary. *J. Environ. Radioact.*, 201, 32–42.

Langmuir D., Riese A. C. (1985). The thermodynamic properties of radium. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, 1593–1601.

Martin A. J., Crusius J., Mcnee J. J., Yanful E. K. (2003). The mobility of radium-226 and trace metals in pre-oxidized subaqueous uranium mill tailings. *Appl. Geochem.*, 18, 1095–1110.

Montaña M., Camacho A., Vallés I., Serrano I. (2012). Experimental analysis of the mass efficiency curve for gross alpha activity and morphological study of the residue obtained by the co-precipitation method. *Appl. Radiat. Isot.*, 70(8), 1541–1548.

Nemzeti Vízstratégia – Kvassay Jenő Terv (2017). <http://www.kormany.hu/download/6/55/01000/Nemzeti%20V%20C3%ADzstrat%C3%A9gia.pdf>

Porcelli, D., Swarzenski, P.W. (2003). The behavior of U- and Th-series nuclides in groundwater. *Rev. Mineral. Geochem.*, 52(1), 317–361.

Pregler A., Surbeck H., Eikenberg J., Werthmüller S., Szidat S., Türler A. (2019). Increased uranium concentrations in ground and surface waters of the Swiss Plateau: A result of uranium accumulation and leaching in the Molasse basin and (ancient) wetlands? *Journal of Environmental Radioactivity*, 208, 106026

Rusconi R., Forte M., Caresana M., Bellinzona S., Cazzaniga M. T., Sgorbati G. (2006). The evaluation of uncertainty in low-level LSC measurements of water samples. *Appl. Radiat. Isot.*, 64(10–11), 1124–1129.

Semkow T. M., Bari A., Parekh P. P., Haines D. K., Gao H., Bolden A. N., Dahms K. S., Scarpitta S. C., Thernd R. E., Velazquez S. (2004). Experimental investigation of

mass efficiency curve for alpha radioactivity counting using a gas-proportional detector. *Appl. Radiat. Isot.*, 60(6), 879–886.

Sheppard M. I. (1980). The Environmental Behavior of Uranium and Thorium. Technical Report AECL-6795. Whiteshell Nuclear Research Establishment. Atomic Energy of Canada Ltd., Pinawa, Manitoba, Kanada.

Skeppström K., Olofsson B. (2007). Uranium and radon in groundwater - an overview of the problem. *Eur. Water*, 17(18), 51–62.

Somlai K., Tokonami S., Ishikawa T., Vancsura P., Gáspár M., Jobbágy V., Somlai J., Kovács T. (2007). Rn-222 concentrations of water in the Balaton Highland and in the southern part of Hungary, and the assessment of the resulting dose. *Radiat. Meas.*, 42(3), 491–495.

Surbeck H. (2000). Alpha spectrometry sample preparation using selectively adsorbing thin films. *Appl. Radiat. Isot.*, 53, 97–100.

Swarzenski P. W. (2007). U/Th series radionuclides as coastal groundwater tracers. *Chem. Rev.*, 107(2), 663–674.

Szabó Z., Zapecza O. (1991). Geologic and geochemical factors controlling uranium, radium-226, and radon-222 in groundwater, Newark Basin, New Jersey. In: Gundersen L. C. S., Wanty R. B. (eds.): *Field Studies of Radon in Rocks, Soils and Water*, USGS Numbered Series No. 1971. CRC Press, USA.

Tóth J. (1999). Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations. – *Hydrogeology Journal* 7/1, 1–14.

2013/51/Euratom (Európai Tanács irányelve) [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2013.296.01.0012.01.HUN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2013.296.01.0012.01.HUN)

201/2001 (X.25) Kormányrendelet [http://njt.hu/cgi\\_bin/njt\\_doc.cgi?docid=58066.358492](http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=58066.358492)

313/2015 (X.28) Kormányrendelet [http://njt.hu/cgi\\_bin/njt\\_doc.cgi?docid=191862.313411](http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=191862.313411)

## A SZERZŐK



**CSONDOR KATALIN** az Eötvös Loránd Tudományegyetem Környezettudományi Doktori Iskolájának negyedéves hallgatója Eröss Anita témavezetésével. A radionuklidokkal, mint természetes nyomjelzőkkel 2014-ben kezdett el foglalkozni termálkarsztos területeken. 2018-ban és 2019-ben elnyerte az Új Nemzeti Kiválósági Program ösztöndíját, melyben az ivóvizek természetes radioaktivitását vizsgálja.

**BAJÁK PETRA** az Eötvös Loránd Tudományegyetem Környezettudományi Doktori Iskolájának elsőéves doktorandusz hallgatója. Hidrogeológiai témájú kutatásokkal 2016 óta foglalkozik, azon belül főként a radionuklidok felszínalatti vízáramlási rendszerekben való megjelenését vizsgálja a biztonságos ivóvízellátással való összefüggésben.

**HEINZ SURBECK** a Neuchateli Egyetem és az ETH Zürich nyugalmazott fizikus professzora, a Nucfilm diszkek feltalálója és az Eötvös Loránd Tudományegyetem hidrogeológiai csoportjának támogatója.

**IZSÁK BÁLINT** a gödöllői Szent István Egyetemen végzett környezetmérnökként (BSc) és ökotoxikológusként (MSc). A Nemzeti Népegészségügyi Központ Környezetegészségügyi Laboratóriumi Osztályának munkatársa. Szakterülete az ivóvízhygiéne, az elem-analitika és az ökotoxikológia.

**HORVÁTH ÁKOS** az Eötvös Loránd Tudományegyetem Atomfizikai Tanszékének docense. Magfizikus, a környezeti radioaktivitás vizsgálatában évtizedek óta részt vesz. Fő környezetfizikai kutatási területe a radon előfordulása felszínalatti vizekben, valamint ezek mérése folyadékszcintillációs spektrometriával.

**VARGHA MÁRTA** 1999-ben végzett az Eötvös Loránd Tudományegyetemen biológusként, majd környezettudományi PhD-t szerzett. 2005 óta dolgozik a Nemzeti Népegészségügyi Központban, illetve jogelődjeiben, a vízhygiénés munkacsoport vezetője.

**PÁNDICS TAMÁS** neurológus szakorvos, 2019-ben PhD fokozatot szerzett az Eötvös Loránd Tudományegyetem Környezettudományi Doktori Iskolájában. A Nemzeti Népegészségügyi Központ Közegészségügyi Laboratóriumi Főosztályának főosztályvezető főorvosa.

**ERŐSS ANITA** az Eötvös Loránd Tudományegyetem Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékének munkatársa. 2010-ben szerzett PhD fokozatot. Hidrogeológusként több, mint egy évtizede foglalkozik a felszínalatti vizekben előforduló természetes radionuklidokkal és azok hidrogeológiai szempontú vizsgálatával.

## A Tisza és mellékfolyói üledékében a mikroműanyag szennyezettség mértéke Rahó és Mindszent között

Kiss Tímea\*, Fórián Szilveszter\*, Sipos György\*

\* Szegedi Tudományegyetem, Geoinformatikai, Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék, Szeged, 6722, Egyetem u. 2-6. (kisstimi@gmail.com; forianszil@gmail.com; gysipos@geo.u-szeged.hu)

### Kivonat

Bár a műanyagokat széles körben alkalmazzuk, a már nem használt anyagok újrahasznosítása, illetve környezettudatos elhelyezése igencsak limitált. A problémát tovább fokozza, hogy egyes kutatások szerint akár még a tisztított szennyvizekből is jut ki mikroműanyag a környezetbe, és a szennyvíziszap lerakás is jelentős szennyezés-forrás. Ennek következtében a műanyagok jelentős mértékben elszennyezik a talajokat és a vizeket. A kutatásunk célja annak meghatározása, hogy van-e, és ha igen, mennyi mikroműanyag (2-0,2 mm) szemcse található a Tisza és mellékfolyói frissen lerakott üledékében, és hogyan változik a szennyezettség a folyó mentén, illetve a különböző mederformákban. A vizsgált, kb. 750 km hosszú szakaszon a Tisza üledékében 2019-ben átlagosan  $3177 \pm 1970$  db/kg, míg a tíz vizsgált mellékfolyó torkolatközeli szakaszán  $3808 \pm 1605$  db/kg mikroműanyag szemcsét mértünk. A mikroműanyag szemcsék döntő többsége műanyag szál volt, ami arra utal, hogy a ruhák mosása révén a folyókba kerülő lakossági szennyvízből származnak. Magas volt a kárpátaljai szakasz szennyezettsége, ahol nagyon alacsony a szennyvíztisztítás mértéke, illetve a kis esésű Tiszakeszi alatti szakaszé, ahol a vízsebesség csökkenés miatt ülepedhetett ki sok szennyezés.

### Kulcsszavak

Tisza vízrendszere, mikroműanyag, háztartási szennyvíz, műanyag szál, mederforma.

## Microplastic pollution in the sediments of the Tisza River and its tributaries between Rahiv, Ukraine and Mindszent, Hungary

### Abstract

Plastics are widely used all over the world, however their recycling or safe, legal disposal is often limited. The problem is further accelerated by the legal or illegal waste water drainage into rivers, as according to former researches even the cleaned waste water can contain microplastics. Besides, the sewage sludge is often deposited on agricultural lands, and run-off can transport the microplastics into rivers. Therefore, plastics enter to the natural environment in great quantity, thus they pollute the soils and the surface and sub-surface waters. The aim of this research is to evaluate the microplastic (2-0.2 mm) pollution of the recently deposited fluvial sediments of the Tisza River and its ten tributaries (Central Europe), to characterise its downstream changes, and to evaluate the role of in-channel forms on microplastic trapping. In 2019 on the studied ca. 750-km-long section the sediments of the Tisza contained  $3177 \pm 1970$  plastic particles/kg, while the mean number of microplastics was  $3808 \pm 1605$  particles/kg in the sediments of the tributaries. Most of the particles were plastic fibres, referring to their communal waste origin, as they are mostly produced during washing synthetic clothes. The highest pollution was measured in the Subcarpathian region (Ukraine) where low number of households are connected to waste water treatment plants. High pollution was detected on the downstream section of the Middle Tisza, where the drop of flow velocity enhances the deposition of plastic particles.

### Keywords

Tisza River, microplastic, communal waste, plastic fibre, in-channel form.

### BEVEZETÉS

A műanyagokat az élet minden területén hasznosítjuk, azonban egy idő után elhasználódnak, és kikerülhetnek a levegőbe, a földekre, illetve bemosódhatnak a felszíni és felszín alatti vizekbe. A műanyag-szennyezés legfontosabb forrásai a legális vagy illegális szemétkerítés (*Li és társai 2020*), és a szennyvizek. A kezeletlen szennyvizek révén közvetlenül jut ki műanyag a környezetbe (*Tramoy és társai 2020*), de a kezelt szennyvizekből is átlagosan csupán 80%-át tudják kiszűrni a műanyag-részecskéknél (*Donoso és Rios-Touma 2020*), így azok is a vizekbe vagy talajokba juthatnak (*Horton és társai 2017*). Ráadásul a műanyaggal szennyezett szennyvíziszap mezőgazdasági földeken való elhelyezése révén a talajerózió közvetítésével további műanyag juthat a vizekbe (*He és társai 2018*).

A környezetbe való kikerülésük után a műanyagok lassan összetöredeznek, így változatos méretű műanyag szemcsékkel találkozhatunk (*van Emmerik és társai 2018*): a

makroműanyagok 5 centiméternél nagyobbak, a mezoműanyagok nagysága 0,5-5 cm, a mikroműanyagok 5 mm-nél kisebbek, míg a nanoműanyagok néhány µm nagyságúak. A mikroműanyagok egy részét eleve kis méretűre gyártják (pl. kozmetikumokba), de a zömük nagyobb műanyag-darabkák összetöredezésével és kopásával keletkezik. Például Németországban évente átlagosan 4 kg mikroműanyag termelődik személyenként (*Bertling és társai 2018*), amiben benne van a ruhák mosása (0,08 kg), az útfelület és a gumiabroncsok kopása (1,55 kg), illetve egyéb folyamatok (pl. cipő kopása, sportpályák kopása, építkezések, festékek kopása). A szintetikus textíliák mosása jelentős mennyiségű mikroműanyag szálát eredményez: például *Yang és társai (2019)* szerint 1 m<sup>2</sup> szintetikus anyag kimosásával közel 75 ezer műanyag szál került a mosóvízbe. Mivel a tisztított szennyvíz is tartalmaz mikroműanyagokat (*Donoso és Rios-Touma 2020*), így a mikroműanyag szálak egyértelműen jelzik, ha kommunális szennyvíz jut a folyóba (*Habib és társai 1996*).



Napjainkban már nem csupán sűrűn lakott területeken átfolyó folyók szennyezettek, de találtak már mikroműanyagot tibeti folyókban (Jiang és társai 2019) vagy a svájci Alpokban (Mani és Burkhardt-Holm 2020). Magyarországon a Zalában és a Balatonban, a Tisza-tóban illetve néhány halastóban vettek 12 helyről víz- és üledék-mintát Bordós és munkatársai (2019), és azt tapasztalták, hogy a vízben átlagosan  $13,79 \pm 9,26$  db/m<sup>3</sup> volt a mikroműanyagok száma, míg az üledékekben  $0,81 \pm 0,37$  db/kg. Ugyanakkor hosszabb szakaszra kiterjedő vizsgálat nem történt, így a mikroműanyag szennyezés térbelisége, a források és nyelők elhelyezkedése nem ismert, miközben ezek időben át is rendeződhetnek egy-egy nagyobb árvíz során, és új szennyezési gócpontok alakulhatnak ki (Hurley és társai 2018).

A mikroműanyag szemcsék általában nagyobb felületek és kisebb sűrűségűek, mint a természetes hordalék, ezért a folyóvízben a szállítódásuk és lerakódásuk is eltérő lehet, bár erről még nagyon ellentmondásos adatok állnak rendelkezésre. Például van arra példa, hogy a szállított szennyeződés és a vízhozam között negatív a kapcsolat, azaz árvízkor felhígul a szennyezés (Barrows és társai 2018; Nel és társai 2018), de van arra is adat, hogy pozitív a kapcsolat, mivel árvízkor a már lerakódott mikroműanyag mobilizálódhat (He és társai 2020; Mani és Burkhardt-Holm 2020).

Kutatásunk célja, hogy feltérképezzük, hogy a Tisza mentén hogyan változik folyásirányban a friss üledék mikroműanyag tartalma, hogyan hatnak a mellékfolyók, és vajon hogyan befolyásolja a mintavételi hely geomorfológiai helyzete a mikroműanyag szennyezést. Adatainkkal hozzá szeretnénk járulni ahhoz, hogy a monitoring-jellegű vizsgálatok megtervezhetővé váljanak, és tapasztalataink alapján a mintavétel pontossága javítható legyen. Ugyanakkor a most bemutatásra kerülő első méréseink ennek az adatsornak az alapjául is szolgálhatnak.

1. táblázat. A vezetékes ivóvíz hálózatba, illetve a szennyvíztisztító telephez csatlakoztatott lakosok aránya (%) a Tisza vízgyűjtő országaiban (Adatok forrása: World Bank 2015)

Table 1. Proportion (%) of population connected to drinking water pipeline systems and to waste water treatment plants in the countries of the Tisza Basin (Data source: World Bank 2015)

Ország	A vezetékes vízhálózat-hoz kapcsolt lakosság aránya (%)	Szennyvíztisztítóhoz kapcsolt lakosság aránya (%)
Ukrajna	73	37
Románia	71	41
Szlovákia	100	62
Magyarország	97	72
Szerbia	90	11

Vizsgálatainkat a Tisza Rahó és Mindszent közötti szakaszán végeztük. Ezt a szakaszt a klasszikus felosztás szerint tagoltuk, amely szerint a Felső-Tisza a kárpátaljai forrástól a Szamos torkolatáig terjed, míg a Közép-Tisza a Maros torokig (Lászlóffy 1982). A Felső-Tisza folyásirány szerinti felső felén a Tisza mély, bevágódó völgyben folyik. Esése nagy (500 cm/km), a kötömbök és kavicsok között a víz sebessége 2-3 m/s (Lászlóffy 1982). A mederben helyenként kavicsos oldalzátónyok és a mellékvölgyek szájánál kialakult torkolati zátonyok találhatók. A Felső-Tisza alsó felén a meder esése fokozatosan lecsökken (10-200 cm/km), így a víz sebessége is mérséklődik (1 m/s). A kárpátaljai szakaszon a lerakódó kavicsos-homokos meder szétágazóvá

## MINTATERÜLET

A mikroműanyag szennyezés szempontjából fontos tény, hogy öt ország osztozik a Tisza vízgyűjtőjén (157200 km<sup>2</sup>), és míg a hegyvidéki részvízgyűjtőkről származik a lefolyó víz 95,7%-a, addig a síkvidéki területekről csupán 4,3%-a (Konecsny 2000). A World Bank (2015) adatai alapján összehasonlítható a vízgyűjtőn osztozó országok szennyvízkezelési gyakorlata (1. táblázat). Ezen országok lakosságának 71-100%-a rendelkezik vezetékes vízzel, ugyanakkor a háztartások csupán 11-72%-a van szennyvízelvezető csatornarendszerekhez, illetve szennyvíztisztítókhöz csatlakozva. Általában a falusias térségekben rosszabb a helyzet, így ott bár szennyvíz csatornahálózattal lehet, hogy rendelkeznek, de szennyvíztisztítás hiányában gyakran a kezeletlen szennyvíz közvetlenül a folyókba jut. A legrosszabb a helyzet Ukrajnában, ahol a falusi háztartásoknak csupán 1,5%-a van a csatornahálózatra kötve, míg a városiak aránya 86% (World Bank 2015). Tarpai (2013) szerint ráadásul Kárpátalján rosszabb a helyzet, mint Ukrajna egészén, amit tovább ront az, hogy az itteni szennyvíztisztítók hatásfoka is rossz az elhanyagolt állapotok miatt, így 2011-ben 7,8 millió m<sup>3</sup> tisztítatlan szennyvizet juttattak az élő vizekbe.

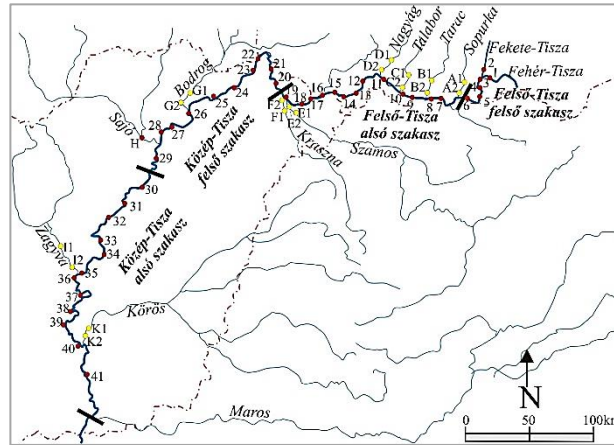
Ugyanakkor a helyzet javuló félben van az EU-hoz csatlakozott országokban. Például Magyarországon 2000-ben a Tisza menti településeken a háztartások 49%-a volt csatornahálózatba kötött (Kerényi és társai 2003), ugyanakkor 2018-ra ez 56%-ra javult (KSH adat), bár egyre inkább elmaradt az országos átlagtól (2000: 52%, 2018: 82%). Különösen a felső-tiszai kisebb települések csatornázottsága alacsony, ami feltételezhetően jelentős mennyiségű mikroműanyag terhelést jelent a vizekre nézve, hiszen illegálisan a folyókba kerülhet az emésztőgödörből kiszippantott anyag. (Azonban pontos adatok erről nem állnak rendelkezésre, ahogy arról sem, hogy a kommunális szennyvíz szikkasztása révén milyen mértékben szennyeződik el mikroműanyaggal a talajvíz.)

válík, ahol a mellékágak kisebb-nagyobb szigeteket határolnak (anasztomizáló mintázat), ugyanakkor Tiszabecstől kezdődően a mederszabályozási munkák eredményeként a meanderező meder enyhén bevágódik. Tivadarnál a fenék-hordalék éves hozama 2260 m<sup>3</sup>, míg a lebetgetetté 0,9 millió m<sup>3</sup> (Bogárdi 1971).

A Közép-Tiszán az esés folyamatosan csökken 8-9 cm/km-ről 2-4 cm/km-re, és a vízsebesség 0,1-0,5 m/s-re (Lászlóffy 1982). Az eséscsökkenés miatt a Közép-Tisza alsó szakasza visszaduzzasztás alatt áll: kisvízkor a kiskörei és a törökbecsei duzzasztók hatása érvényesül, míg az árvizeket a Duna és a Maros duzzaszthatja vissza egészen

Szolnokig (Vágás és Bezdán 2015). A folyamatok hatásaként Szegednél már alig szállítódik fenékhordalék (110 m<sup>3</sup>/év), ugyanakkor a lebetgetett hordalékhozam 12,2 millió m<sup>3</sup> évente (Bogárdi 1971). A mederszabályozások eredményeként a meanderező meder bevágódik, és a jellegzetes akkumulációs formák (pl. szigetek, övzátonyok, oldalzátonyok) eltűnően vannak.

A Tisza Rahó és Mindszent közötti kb. 750 km-es szakaszán összesen 41 helyen, míg 10 mellékfolyó torkolat-közelében további 19 helyen gyűjtöttünk mintát (1. ábra). A mintagyűjtést 2019 augusztusában, kisvízes időszakban végeztük: az aktuális vízszint felett 10-50 cm-rel magasabban frissen lerakódott üledéket gyűjtöttük be.



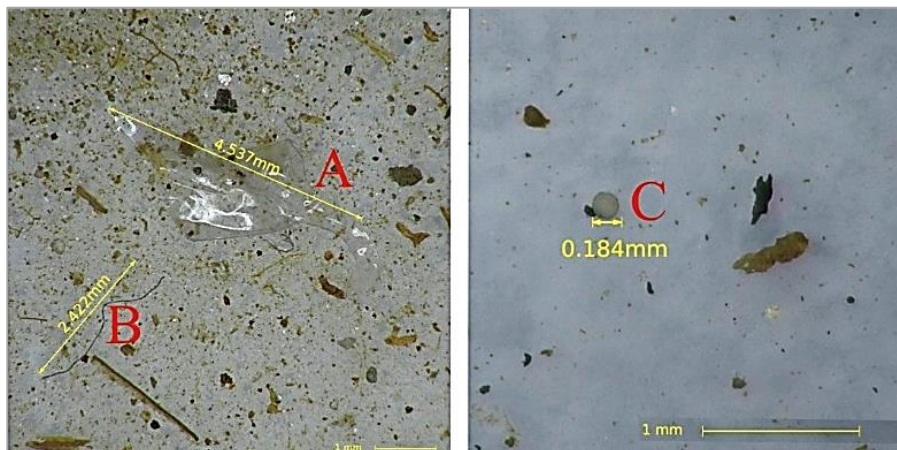
1. ábra. A mintavételi pontok elhelyezkedése a Tisza (1-41) és a mellékfolyók (A-K) mentén (Megjegyzés: A fekete rövid vonalak a szakaszhatárokat jelölik.)

Figure 1. Location of the sampling sites along the Tisza River (1-41) and on the tributaries (A-K). (Note: The short black bars reflect the limits of the sections.)

## MÓDSZEREK

Mivel a begyűjtött minták szemcseösszetétele a durva kavicsostól az agyagos-homokosig széles skálán mozgott, az összehasonlíthatóság kedvéért csak a 2 mm alatti frakciót használtuk. A szerves üledéket 1,8 g/cm<sup>3</sup> sűrűségű cink-klorid oldattal választottuk el, míg a szerves anyagot hid-

rogén-peroxiddal roncsoltuk (Atwood és társai 2019). Az így elválasztott közepes méretű (0,2-2 mm) mikroműanyagokat fénymikroszkóp segítségével azonosítottuk, elkülönítve a szálakat, gömböket és foszlányokat (2. ábra). A minták szemcseösszetételét Fritsch Analysette 22 MicroTec plus segítségével határoztuk meg.



2. ábra. Különböző mikroműanyag típusokról készült mikroszkópos felvételek (Megjegyzés: A: foszlány, B: szál, C: gömb) Figure 2. Various microplastic types under microscope (Note: A: fragment, B: fibre, C: pearl)

## EREDMÉNYEK

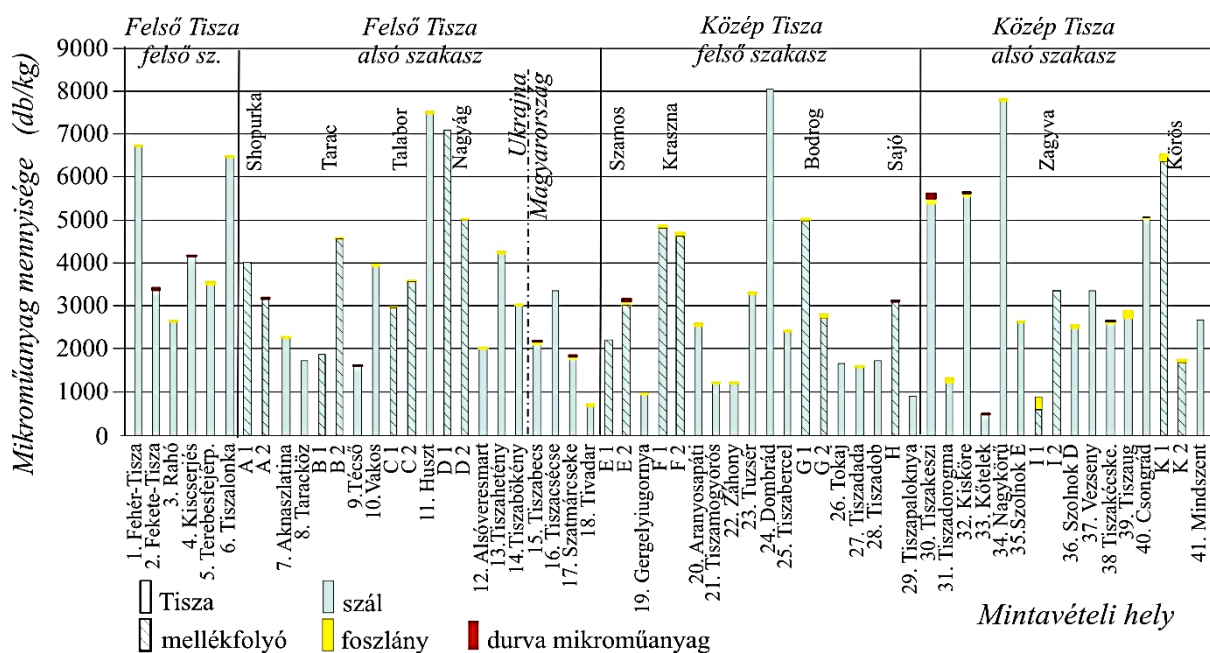
### Folyásirány szerinti változások a Tisza mentén

A 2019-es minták elemzése azt mutatja, hogy a felső-tiszai minták átlagosan 15%-al több mikroműanyagot tartalmaztak (3430±1834 db/kg) mint a közép-tiszaiak (2968±2093 db/kg). A kárpátaljai mintavételi pontokon az átlagos szennyezettség (3810±1826 db/kg) jóval meghaladja a hazai Felső-Tiszán mértet (2004±1084 db/kg) és a teljes magyar szakasz átlagát (2825±1991 db/kg) is.

A teljes vizsgált szakasz leginkább szennyezett üledékeit (4383±1589 db/kg) Rahó és Tiszalonka (1-6. sz. mintavételi pont) között gyűjtöttük (3. ábra). A mintavétel során jól látható volt, hogy ezen a völgyi szakaszon közvetlenül a Tiszába szórják a kommunális hulladékot, így rengeteg szemét (makroműanyag) akadt fenn a zátonyokon és a faágakon a víz fölött, és a beömlő patakok is erős makroműanyag szennyezettséget mutattak. A mintákban itt volt a legmagasabb a műanyagszálak aránya (98,5%), viszonylag kevés foszlány fordult elő (13-57 db/kg), és néhány nagyobb mikroműanyagot is találtunk (13-39 db/kg).

A Felső-Tisza alsó feléről származó üledékek Aknaszlatina és Tivadar között (7-18 sz. pontok) kevésbé voltak szennyezettek mikroműanyaggal ( $2874 \pm 1792$  db/kg) és makroműanyag is kisebb arányban volt jelen a mintákban. Itt a települések kissé távolabb vannak a Tiszától, így feltételezésünk szerint a szennyvizek közvetlen be-

eresztése és a szemét beszórása is kisebb mértékű lehet. A legmagasabb szennyezettséget (7533 db/kg) Huszt (11. sz.) felett mértük, majd innen fokozatosan csökkent a mikroműanyagok mennyisége az üledékben, és Tivadarnál (18. sz.) már csak 729 db/kg volt. A szálak aránya 95%-ra csökkent, és a foszlányok aránya nőtt meg.



3. ábra. A Tisza és mellékfolyói üledékében lévő mikroműanyag tartalom (db/kg), illetve azok morfológiai típusai  
Figure 3. Microplastic content of the sediment samples collected along the Tisza River and its tributaries, and the main microplastic types

A Közép-Tisza is két szakaszra osztható a mikroműanyagok mennyisége alapján. A felső szakaszon, Gergelyugornya és Tiszapalkonya között (19-29. sz. pontok) csupán átlagosan  $2334 \pm 2042$  db/kg szemcse rakódott le, így ez a teljes vizsgált Tisza legkevésbé szennyezett része, ahol sem foszlányok, sem nagyobb mikroműanyagok nem fordultak elő az üledékben. Ugyanakkor Dombrádnál (24. sz. pont) mértük a Tisza legmagasabb szennyezését ( $8067$  db/kg), ami feltételezhetően helyi okokra vezethető vissza, de ennek tisztázásához további mérések szükségesek. A Közép-Tisza alsó fele Tiszakesztől Mindszentig (30-41. sz. pontok) erősen szennyezett ( $3549 \pm 2049$  db/kg), hiszen 53%-al több mikroműanyagot tartalmazott az üledék, mint a felette lévő szakaszon. A foszlányok és nagyobb szemű mikroműanyagok mennyisége 7,3%-ra nőtt, bár még itt is a szálak dominálnak.

Bár a Felső-Tisza nagy esése és vízsebessége nem biztosít kedvező körülményeket a finomabb szemcsék és a könnyű mikroműanyag darabok lerakódásához, mégis nagy mennyiségben ülepedtek le. Ez arra utal, hogy a természetes befolyásoló tényezőket felülírhatják az antropogén hatások, azaz a jelentős mértékű szennyezés-utánpótlás miatt rakódott le sok mikroműanyag szemcse. Ez szoros összefüggésben áll azzal, hogy a kárpátjai részvízgyűjtőkön a szennyvíz-kezelés igen alacsony színvonalú és mértékű. A további szakaszokon egyre kisebb a szennyezés mértéke, ami szállítódás közbeni lerakódásra utal (Christensen és társai 2020). Bár a Közép-Tisza alsó felén

a települések szennyvíztisztítása már megoldott és a mellékfolyók sem szállítanak jelentős mikroműanyag utánpótlást a Tiszába, mégis sok műanyag rakódott le az üledékekben. Itt a fokozott lerakódást egyrészt magyarázhatja a csökkenő esés és kisebb vízsebesség, a gyakori visszadzasztott állapot, illetve azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a tisztított szennyvízben is maradhatnak műanyagyszemcsék (Donoso és Rios-Touma 2020).

Az, hogy a mikroműanyagok döntő hányada mindegyik mintavételi ponton a műanyag szálakhoz tartozott, egyértelműen arra utal, hogy a szennyezés háztartási eredetű, és az élővizekbe kiengedett szennyvízből (pl. mosóvízből) származik. Ezt támasztja alá az a tény is, hogy a kárpátjai és romániai részvízgyűjtőkön lévő településeken csupán a háztartások 0-40%-a csatlakozik olyan szennyvízhálózatokhoz, amelyek vizét tisztítják is (Tarpai 2015; World Bank 2015). Ugyanakkor a foszlányok megjelenése arra utal, hogy hol rakódik le a nagyobb műanyagok (pl. PET-palackok) erodálódásával keletkező törmelék. Ennek kitüntetett helye a Felső-Tisza alsó szakasza, ahol már elegendő utat tettek meg a makroműanyagok az erősen szennyezett völgyi szakasztól ahhoz, hogy róluk darabok váljanak le, illetve a Közép-Tisza alsó szakasza, ahol pedig a nagyon alacsony vízsebesség lehetővé teszi ezen nagy felületű műanyagok leülepedését is.

Terepi megfigyeléseink szerint a szennyezési gócpontok ( $\geq 4000$  db/kg) olyan helyekhez köthetők, ahol szennyvíz-befolyó található (pl. Tiszalónka), vagy illegálisan raktak le szemetet a mederbe (pl. Fehér-Tisza torkolatközeli zátonya, Huszt), vagy a horgászok látogatják és otthagyják



a szemetüket (pl. Dombrád, Tiszadorogma és Nagykörű). Ugyanakkor ez csupán egy egyszeri mérés volt, az okok pontosabb feltárásához további mintavételek és mérések szükségesek.

### A mellékfolyók hatása a Tisza mikroműanyag-szennyezettségére

A mintavétel (2019. augusztus) idején a tíz megmintázott mellékfolyó üledékében a mikroműanyagok átlagos mennyisége ( $3808 \pm 1605$  db/kg) kb. 20%-al magasabb volt, mint a Tiszában ( $3177 \pm 1970$  db/kg). A Felső-Tiszába ömlő Sopurka, Tarac, Talabor és Nagygagy folyók üledékében kiemelkedően magas volt a mikroműanyagok mennyisége ( $4201 \pm 1548$  db/kg), azaz ezek átlagosan 46%-al voltak szennyezettebbek, mint a Tisza (3. ábra). Ugyanakkor hatásukra nem volt tapasztalható a mikroműanyag szennyezés jelentős növekedése a Tiszában. Ez azzal magyarázható, hogy ezek a folyók csupán 8-20%-al járulnak hozzá a Tisza közepes vízhozamához (2. táblázat).

A Közép-Tisza felső szakaszán a Tiszába torkolló Szamos, Kraszna, Bodrog és Sajó üledékei ( $3\ 687 \pm 1\ 155$  db/kg) kevésbé voltak szennyezettek, mint a kárpátjai folyóké, de 58%-al magasabbak, mint a Tiszáé ( $2\ 334 \pm 2\ 042$  db/kg) ugyanitt. A Szamos és a Kraszna együttesen 37,9%-al növelik a Tisza vízhozamát, és így a viszonylag magas

mikroműanyag szennyezettségük ( $3\ 723$  db/kg) jelentősen befolyásolja a Tiszáét, hiszen a beömlésük feletti mintavételi ponton a tiszai üledék mikroműanyag tartalma csupán  $729$  db/kg volt, míg alatta már  $956$  db/kg.

A Közép-Tisza alsó szakaszán a Zagyva és a Körös átlagos mikroműanyag szennyezettsége ( $3\ 138 \pm 2\ 482$  db/kg) alacsonyabb volt, mint a többi mellékfolyóé, és 11%-al kisebb, mint a Tiszáé ( $3\ 549 \pm 2\ 049$  db/kg). Üledékeikben a foszlányok aránya viszonylag magas (2-33%) volt, de még mindig a műanyag szálak tették ki a műanyag töredékek többségét.

Összességében megállapítható, hogy a mellékfolyók jelentős forrásai a mikroműanyag-szennyezésnek a Tiszában, hiszen átlagosan ötödével volt magasabb az üledékeik szennyezettsége a mintavételek időpontjában, mint a főfolyóé. Ugyanakkor ennek pontos meghatározására a folyók távolabbi, nem visszaduzzasztott szakaszain is kellene mintát venni az üledékből és a vízből is. Különösen a Kárpátalján és a Romániában eredő mellékfolyók a szennyezés fő forrásai. A mellékfolyó szennyező hatása függ attól, hogy mekkora vízhozammal járul hozzá a Tisza vízhozamához, ugyanakkor a hordalékhozamuk sem elhanyagolható, azonban ehhez is további pontos adatokra lenne szükség.

2. táblázat. A Tisza vizsgált mellékfolyóinak főbb jellegzetességei (Forrás: \*Konecsny 2000; \*\*Andó 2002)  
(Megjegyzés: A hozzájuk tartozó részvízgyűjtőkön osztozik Ukrajna (UA), Románia (RO), Magyarország (HU) és Szlovákia (SK))  
Table 2. Main characteristics of the sampled tributaries of the Tisza River (Sources: \*Konecsny 2000, \*\*Andó 2002)

(Note: Their catchments are shared by Ukraine (UA), Romania (RO), Hungary (HU) and Slovakia (SK).)

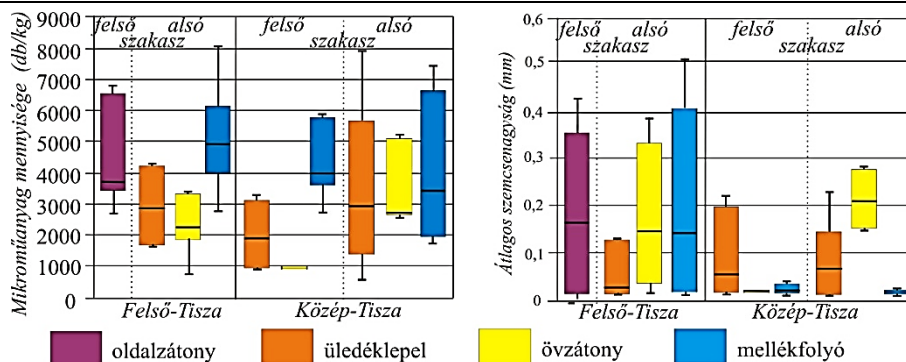
Mellékfolyó	Vízgyűjtő terület (km <sup>2</sup> ) (ország részesedése)*	Közepes vízhozam (m <sup>3</sup> /s)**		A mellékfolyó hozzájárulása a Tisza vízhozamához (%)
		mellékfolyóé	Tiszáé az összefolyásnál	
Sopurka	286 (UA: 100%)	5,7	67	8,5
Tarac	1 224 (UA: 100%)	27	134	20,1
Talabor	766 (UA: 100%)	19	155	12,3
Nagyagy	1 240 (UA: 100%)	21	175	12,0
Szamos	15 881 (RO: 98%, Hu: 2%)	120		36,4
Kraszna	3 142 (RO: 72%; Hu: 28%)	5	330	1,5
Bodrog	13 580 (SK: 55%, Ua: 36%, Hu: 8%)	124	464	26,7
Sajó	12 708 (SK: 67%, Hu: 33%)	65	530	12,3
Zagyva	5 677 (HU: 100%)	10	546	1,8
Körös	27 537 (RO: 53%, Hu: 47%)	105	652	16,1

### A mintavételi pont helyzete és szemcseösszetételének hatása a Tisza mikroműanyag-szennyezettségére

A Felső-Tisza felvízi szakaszán a Rahó és Tiszalonka (1-6. sz.) közötti mintavételi pontok durva kavicsú oldaltározásokon voltak. Az alsóbb anasztomizáló és meanderező szakaszokon a kanyarulatok belső ívén lévő övzátányokról, illetve az egyenes vagy külső ívek mederoldalára lerakódó üledékpletekből vettünk mintákat. A Felső-Tiszán az üledékpletekben a mikroműanyag-tartalom általában magasabb volt és az adatok szórása is nagyobb, mint az ugyanazon szakaszokon lévő övzátányokból vett mintákban, holott az övzátányok durvább anyagúak voltak, mint az üledéktakarók (4. ábra). Míg a Felső-Tiszán az övzátányok kevésbé megfelelő környezetet biztosítottak a mikroműanyag lerakódásnak, mint az üledéktakarók, addig a Közép-Tiszán ez a kapcsolat megfordult, és bár az övzátányok továbbra is durvább anyagúak, de több mikroműanyag csapódott bennük. Általában a

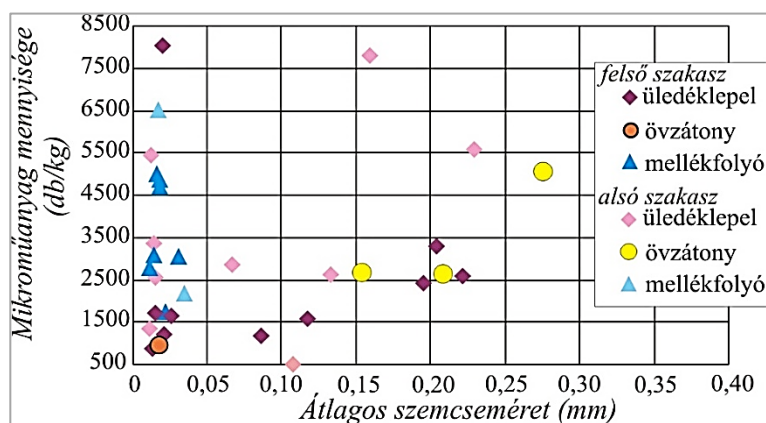
mellékfolyók üledékei finomszeműbbek voltak, mint ami a Tisza adott szakaszán jellemző, csak a legfelső, fontos mellékfolyók (pl. Sopurka, Tarac, Talabor) üledékei voltak durvább szeműek. A torkolat-közel szakszakok finomszemű lerakódásai a visszaduzzasztott állapottal hozhatók kapcsolatba: ez elősegítheti a mikroműanyagok kiülepedését is, ami magyarázhatja a mellékfolyók üledékének magasabb mikroműanyag tartalmát.

Azoknál a mintáknál, amelyeknél az átlagos szemcseátmérő 0,05 mm alatti volt, nem volt kapcsolat a szemcseméret és a mikroműanyag-tartalom között. Ugyanakkor, ahogy az üledék szemcseösszetétele durvult, a mikroműanyag tartalom egyre magasabbá vált. Különösen jól látszik ez a közép-tiszai minták esetében (5. ábra), ami arra utal, hogy ezen a kis esésű szakaszon a nagyobb vízsebesség (és durvább üledék) biztosít kedvezőbb környezetet a mikroműanyagok lerakódásához.



4. ábra. Az üledékek mikroműanyag tartalma és átlagos szemcsemérete ( $d_{50}$ ) a Tisza egyes szakaszain előforduló akkumulációs formákon, illetve a mellékfolyók mentén

Figure 4. Microplastic content and mean grain size ( $d_{50}$ ) of the sampled fluvial forms on the different sections of the Tisza River and its tributaries



5. ábra. Az üledékek átlagos szemcsemérete és az üledék mikroműanyag tartalma a Közép-Tisza szakaszain előforduló akkumulációs formákon, illetve a mellékfolyók mentén

Figure 5. Mean grain size and microplastic content of the sampled fluvial forms on the different sections of the Middle-Tisza River and its tributaries

## ÖSSZEGZÉS

A Tisza vizsgált 750 km hosszú szakaszán a 2019 nyarán frissen lerakódott üledékben a mikroműanyagok mennyisége 528 és 8067 db/kg között változott (átlag:  $3\,177 \pm 1\,970$  db/kg), míg a vizsgált tíz mellékfolyó üledékében 900-7 115 db/kg (átlag:  $3\,808 \pm 1\,605$  db/kg) mikroműanyag szemcsét számoltunk. Ezek az adatok arra utalnak, hogy a Tisza vízrendszere szennyezettebb, mint a nemzetközi publikációkban megjelent vízfolyások (3. táblázat).

Mivel a Tisza és mellékfolyói üledékében is a mikroműanyag szálak dominálnak, egyértelmű, hogy elsősorban a lakossági tisztítatlan szennyvíz bevezetés terheli a folyót ebből a szempontból is. Figyelembe véve, hogy a felső vízgyűjtők egy részén a közműolló egyre inkább szétnyílik, illetve a mederüledékek mobilizálódhatnak, feltehető, hogy a szál marad a Tisza jellegzetes műanyag-szennyezési formája.

3. táblázat. Néhány folyó üledékének mikroműanyag szennyezettsége irodalmi adatok alapján

Table 3. Some data on the microplastic pollution of rivers from all over the world

Folyó (ország)	A mikroműanyag		Forrás
	menyisége (db/kg)	jellegzetes típusa	
Temze (GB)	660	foszlány	Horton és társai 2017
Elba (D)	2080	foszlány, gömb	Scherer és társai 2020
Mersey (GB)	2812-6350	foszlány, gömb	Hurley és társai 2018
Haihe (Kína)	$4980 \pm 2462$	szálak	Liu és társai 2021
West River (Kína)	2560-10240	szálak	Huang és társai 2021
Nakdong River (Dél-Korea)	$1970 \pm 62$	foszlány	Eo et al 2019
Amazonas három mellékfolyója (Brazília)	417-8178	szálak	Gerolin és társai 2020
Brisbane River (Ausztrália)	10-520	foszlány	He és társai 2020
St. Lőrinc folyó (Kanada)	65-7562	gömb	Crew és társai 2020
Fall és Six Mile Creeks (USA)	25-250	szálak	Watkins és társai 2019

A méréseink alapján a Tiszán a mikroműanyag mennyiségében nem tapasztaltunk egyértelmű folyásirány szerinti változást, ami annak tudható be, hogy változtak a szakaszok hordalék-lerakódási viszonyait befolyásoló hidrológiai, geomorfológiai és antropogén (mikroműanyag in-

put) viszonyok is. Ugyanakkor a hatótényezők szerepe igen eltérő lehet szakaszonként is. Ezt jól mutatja, hogy a Felső-Tisza felvízi felén és az Közép-Tisza alvízi felén mértük a legtöbb mikroműanyag részecskét az üledékben ( $4383 \pm 1589$  db/kg illetve  $3549 \pm 2049$  db/kg), holott a két

szakasz esés- és sebességviszonyai nagyon eltérőek. Tehát a hidrológiai és geomorfológiai hatásokat érdemes ugyanazon szakaszon belül is értékelni, és a jövőbeli monitoring megszervezésekor érdemes jóval több ponton vizsgálni a szennyezést, hogy a hatótényezők pontosabban feltárhatók legyenek. A jövőben település-szintű elemzéseket kellene végezni, hogy a szennyezőforrások pontosan azonosíthatók legyenek, illetve ezek időbeli dinamikáját is fel kell tárni. Ráadásul a mikroműanyagok szállítódásának és lerakódásának tér- és időbeli változásai is a kutatások céljai között szerepelhetnek. Tehát a mikroműanyagok vizsgálata egy új és perspektivikus kutatási irányba lehet a folyóvízi kutatásoknak.

A mérések jövőbeli tervezésekor azt is javasoljuk, hogy hasonló morfológiai helyekről és hasonló szemcseösszetételű üledéktestekből történjen a mintavétel, hogy a szennyezés valódi mértéke becsülhető legyen. A mellékfolyók hosszabb, nem csak torkolati szakaszáról is javasolt a mintagyűjtés, hogy az adott mellékfolyó pontos szerepe meghatározható legyen, azaz az, hogy mennyivel járul hozzá a főfolyó mikroműanyag szennyezéséhez.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az OTKA K:134306 sz. pályázata támogatta. Köszönjük a kutatásban résztvevő hallgatók segítségét.

### IRODALOMJEGYZÉK

Andó M. (2002). A Tisza vízrendszer hidrogeográfiája. SZTE-TFGT, Szeged, p. 168.

Atwood E.C., Falcieri F.M., Piehl S., Bochow M., Matthies M., Franke J., Carniel S., Sclavo M., Laforsch C., Siegert F. (2019). Coastal accumulation of microplastic particles emitted from the Po River, Northern Italy: Comparing remote sensing and hydrodynamic modelling with *in situ* sample collections. *Marine Pollution Bulletin* 138, 561-574.

Barrows A.P., Christiansen K.S., Bode E.T., Hoellein T.J. (2018). A watershed-scale, citizen science approach to quantifying microplastic concentration in a mixed land-use river. *Water Research*, 147, 382-392.

Berling J., Berling R., Hamann L. (2018). Kunststoffe in der Umwelt: mikro- und makroplastik. Fraunhofer Institut für Umwelt, Dortmund, p. 56.

Bordós G., Urbányi B., Micsinai A., Kriszt B., Palotai Z., Szabó I., Hantosi Zs., Szoboszlai S. (2019). Identification of microplastics in fish ponds and natural freshwater environments of the Carpathian Basin. *Chemosphere*, 216, 110-116.

Bogárdi J. (1971). Vízfolyások hordalékszállítása. Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 837.

Christensen N.D., Wisinger C.E., Maynard L.A., Chauhan N., Schubert J.T., Czuba J.A., Barone J.R. (2020). Transport and characterization of microplastics in inland waterways. *Journal of Water Process Engineering* 38, 101640.

Crew A., Gregory-Eaves I., Ricciardi A. (2020). Distribution, abundance, and diversity of microplastics in the upper St. Lawrence River. *Environmental Pollution* 260, 113994.

Donoso J.M., Rios-Touma B. (2020). Microplastics in tropical Andean rivers: A perspective from a highly populated Ecuadorian basin without wastewater treatment. *Heliyon* 6, e04302.

Emmerik van T., Kieu-Le T.C., Loozen M., van Oeveren K., Strady E., Bui X., Egger M., Gasper J., Lebreton L., Nguyen P., Schwarz A., Slat B., Tassin B. (2018). A methodology to characterize riverine macroplastic emission into the ocean. *Frontiers in Marine Science* 5, 10.3389/fmars.2018.00372

Eo S., Hong S.H., Song Y.K., Han G.M., Shim W.J. (2019). Spatiotemporal distribution and annual load of microplastics in the Nakdong River, South Korea. *Water Research* 160, 228-237.

Gerolin C.R., Pupim F.N., Sawakuchi A.O., Grohmann C.H., Labuto G., Semensatto D. (2020). Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil. *Science of the Total Environment* 749, 141604

Habib D., Locke D.C., Cannone L.J. (1996). Synthetic fibers as indicators of municipal sewage sludge, sludge products, and sewage treatment plant effluents. *Water Air Soil Pollution* 103, 1-8.

He B., Goonetilleke A., Ayoko G.A., Rintoul L. (2020). Abundance, distribution patterns, and identification of microplastics in Brisbane River sediments, Australia. *Science of the Total Environment* 700, 134467

He D., Luo Y., Lu S., Liu M., Song Y., Lei L. (2018). Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *Trends in Analytical Chemistry* 109, 163-172.

Horton A.A., Svendsen C., Williams R.J., Spurgeon D.J., Lahive E. (2017). Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK – Abundance, sources and methods for effective quantification. *Marine Poll. Bull.* 114, 218-226.

Huang D., Li X., Ouyang Z., Zhao X., Wu R., Zhang C., Lin C., Li Y., Guo X. (2021). The occurrence and abundance of microplastics in surface water and sediment of the West River downstream, in the south of China. *Science of the Total Environment* 756, 143857

Hurley R., Woodward J., Rothwell J.J. (2018). Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding. *Nature Geoscience* 11/4, 251-257.

Jiang C., Yin L., Li Z., Wen X., Luo X., Hu S., Yang H., Long Y., Deng B., Huang L., Liu Y. (2019). Microplastic pollution in the rivers of the Tibet Plateau. *Environmental Pollution* 249, 91-98.

Kerényi A., Szabó Gy., Fazekas I., Szabó Sz. (2003). Környezeti problémák és megoldási lehetőségek. in: Teplán I. (szerk): A Tisza vízrendszere II. MTA TKK, Budapest, 179-203.

Konecsny K. (2000). Az országhatáron túli tájalakítás hatása az Alföld vízviszonyaira. In: Pálfai I. (szerk). A víz szerepe és jelentősége az Alföldön. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba, 27-46.

Lászlóffy W. (1982). A Tisza. Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 610.

Li C., Busquets R., Campos L.C. (2020). Assessment of microplastics in freshwater systems: A review. *Science of the Total Environment* 707, 135578

Liu Y., Zhang J.D., Tang Y., He Y., Li Y.J., You J.A., Breider F., Tao S., Liu W.X. (2021). Effects of anthropogenic discharge and hydraulic deposition on the distribution and accumulation of microplastics in surface sediments of a typical seagoing river: The Haihe River. *Journal of Hazardous Materials* 404, 124180

Mani T., Burkhardt-Holm P. (2020). Seasonal microplastics variation in nival and pluvial stretches of the Rhine River – From the Swiss catchment towards the North Sea. *Science of the Total Environment* 707, 135579

Nel H.A., Dalu T., Wasserman R.J. (2018). Sinks and sources: Assessing microplastic abundance in river sediment and deposit feeders in an Austral temperate urban river system. *Sci. of the Total Environment* 612, 950-956.

Scherer C., Weber A., Stock F., Vurusic S., Egerci H., Kochleus C., Arendt N., Foeldi C., Dierkes G., Wagner M., Brennholt N., Reifferscheid G. (2020). Comparative assessment of microplastics in water and sediment of a large

European river. *Science of the Total Environment* 738, 139866

Tarpai J. (2015). A természeti és társadalmi erőforrások szerepe Kárpátalja turizmusfejlesztésében és hatása a területfejlesztésre. PhD disszertáció, PTE, Pécs, 181.

Tramoy R., Gasperi J., Colasse L., Tassin B. (2020). Transfer dynamic of macroplastics in estuaries: New insights from the Seine estuary: Long term dynamic based on date-prints on stranded debris. *Marine Poll. Bull* 152, 110894.

Vágás I., Bezdán M. (2015). Tisza és árvizei. Kisbíró Kft., Szeged, p. 190

Watkins L., McGrattan S., Sullivan P.J., Walter M.T. (2019). The effect of dams on river transport of microplastic pollution. *Science of the Total Environment* 664, 834-840.

World Bank (2015). Water and Wastewater Services in the Danube Region: country notes, IAWD

Yang L., Qiao F., Lei K., Li H., Kang Y., Cui S. (2019). Microfiber release from different fabrics during washing. *Environmental Pollution* 249, 136-143.

## A SZERZŐK



**KISS TÍMEA** diplomáját (1998) és PhD fokozatát (2001) a Debreceni Egyetemen szerezte, majd 2015-ben megkapta a Magyar Tudományos Akadémia Doktora (DSzC) címet, 2016-ban habilitált. A Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Karának docense. A folyók morfológiai változásait és a vízrendszereket érő emberi hatásokat vizsgálja.

**FÓRIÁN SZILVESZTER** a Szegedi Tudományegyetem földrajz-német szakos hallgatója.

**SIPOS GYÖRGY** geográfusként végzett (2002), majd PhD fokozatot szerzett (2007) a Szegedi Tudományegyetemen, ahol jelenleg egyetemi docensként dolgozik. Az Optikailag Stimulált Lumineszcens Laboratórium vezetője. Kutatási területei a folyók hidromorfológiai változásai és OSL vizsgálatok.



## Egy tisztántúli talajcsövezett mintaterület állapotfelmérési lehetőségeinek, valamint működési hatékonyságának vizsgálata

Túri Norbert

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Öntözési és Vízgazdálkodási Kutató Központ. 5540 Szarvas, Anna-liget u. 35.  
E-mail cím: turi.norbert@uni-mate.hu

### Kivonat

A napjainkban tapasztalható időjárási szélsőségek egyre inkább rávilágítanak arra, hogy a termelésbiztonság jövőbeli fenntartásához intézkedési koncepciók (cselekvési tervek) kidolgozására van szükség. Ennek igen fontos eleme lehet a hazánkban egykor kiterjedten alkalmazott melioráció új perspektívából való megközelítése, újszerű alkalmazási lehetőségeinek meghatározása. Korábban a kedvezőtlen vízgazdálkodási tulajdonságú mezőgazdasági területek termőképességének javítását célozta a komplex melioráció, ezen belül a talajcsövezés. A kiépült hálózatok jelenlegi hatékonysága a talajvízszint és/vagy a talajnedvesség szabályozásban sok szempontból megkérdőjelezhető, de egyes drénhálózatok esetében ez már a telepítést követő években is elmondható volt. Az esetenkénti nem megfelelő tervezés-méretezés-kivitelezés, de főként a nem megfelelő üzemeltetési és karbantartási feladatok elmaradása generált közvetlen és közvetett problémákat. A gondokat súlyosbította, hogy a rendszerváltást követően megváltoztak a birtokméretek és az üzemeltetés struktúrája. A szövetkezeti és állami gazdaságok által művelt mezőgazdasági területek 85-90%-a földkérdőre magánkézbe került, így a magántulajdonosoktól függött, hogy az általuk kezelt területen hogyan gazdálkodtak a meglévő infrastruktúrákkal. Tipikus lett a fenntartási és üzemeltetési feladatok elmaradása, amely máig aktuális probléma. Fontos feladat annak megállapítása, hogy van-e lehetőség a régi drénrendszerek hasznosítására vízvezetési vagy vízpótlási célra, vagy egy teljesen új üzemeltetési és karbantartási megközelítés szükséges. Ehhez azonban ismernünk kell az egykor kezelt területek helyeit, jelenlegi állapotát, működési hatékonyságát. Elmondható, hogy a talajcsövezett területek pontos elhelyezkedését tartalmazó országos kataszter jelenleg nem áll rendelkezésre, a szükséges adatok is csak korlátozottan érhetők el a meliorációs tervdokumentációk között. Jelen tanulmányban – egy Hármas-Köröshöz közeli terület példáján – bemutatom az egykor talajcsövezett területek lehatárolásának lehetőségeit; állapotfelmérésének módszereit; valamint szemléltetem a gyűjtött adatok térinformatikai adatbázisba rendezését, amely alapul szolgálhat egy térségi szemléleten alapuló talajcsövezési kataszter kialakításának.

### Kulcsszavak

Melioráció, talajcsövezés, állapotértékelés, GIS.

## Investigation of the status assessment possibilities and operational efficiency of a Trans-Tisza tile-drained sample area

### Abstract

Extreme weather events are highlighting the need of action concepts and plans in order to maintain production security in the near future. Land amelioration serves this purpose by improving areas with unfavorable production conditions and preserving the conditions of productive areas but nowadays novel applications and approaches are required. The extensive application of these interventions took place before 1990. The current efficiency of the drain networks in the regulation of groundwater level and soil moisture control is questionable in many aspects but in the case of some drainage networks this could already be said in the following years of their installation. Inadequate design and construction, but especially lack of inadequate operation and maintenance tasks generated direct and indirect problems. However, after the change of regime in 1990, due to the changed size of the estates and connecting administrative changes, the previous system-level thinking and practice could no longer prevail. 85-90% of the agricultural land cultivated by cooperatives and state farms went into private hands through land indemnification. Accordingly, instead of the planned land management of former farms, it became private owners tasks to manage the existing infrastructures in the area they managed (it became typical to neglect to perform maintenance and operation tasks). It can be said that there is currently no amelioration cadastre containing the specific location of the tile drained areas in Hungary, meanwhile the necessary data are also partially available in the pages of the former amelioration plan documentations. Besides the lack of exact knowledge of previous interventions, our knowledge of the current condition of the drained agricultural areas is also very limited – but in general land owners can neither provide information. In the present study – on the example of an area close to the river Hármas-Körös – the possibilities of delimiting the tile drained areas, and the methods of surveying the condition will be demonstrated, and the arrangement of the collected data into a GIS database as a new cadastre of the drained areas based on regional approach will be illustrated.

### Keywords

land amelioration, subsurface tile drainage, field survey, GIS.

### BEVEZETÉS

A rendszerváltás előtt, a III–VII. ötéves tervidőszakok alatt megvalósult meliorációs beruházások során körülbelül 150 ezer hektár mezőgazdasági területet dréneztek hazánkban a vízgazdálkodási szempontból problémás, vagy káros sókat tartalmazó talajok javítása érdekében (*Babics 1989*). Talajtani felmérések alapján azonban elmondható,

hogy ennek a területnek tízszerese (1,3 millió hektár) igényelt volna felszín alatti vízrendezést (*Hornyik 1984*). Hazánkban párhuzamosan vonva, a felszín alatti vízrendezés majd minden európai országban kiemelt jelentőségű volt. 1980-ban Svédország 1 millió ha, Finnország 2,5 millió ha, az Egyesült Királyság 3,8 millió ha, Franciaország 4 millió ha, az NSZK 4,4 millió ha, az NDK 2,4 millió ha,

Hollandia 0,7 millió ha, Magyarország pedig 0,04 millió ha drénezett területtel rendelkezik (*Szinay 1983a*).

Számos irodalmi közlés bizonyítja (*Mile 1986, Bognár és Geredy 1989, Forgóné 1996*), hogy a megfelelő körültekintéssel és indokoltsággal végzett talajcsövezés kedvező hatása (vízlevezetés, talajvízszint szabályozás, szikesedési folyamatok megakadályozása, vízviisszapótlás stb.) a mezőgazdasági termelés több területén is megmutatkozott, mint a jobb terméseredményekben; a talaj szerkezetének, a levegő-, víz-, és tápanyagforgalmának javulásában; a belvízborítások csökkenő mértékében és tartósságában; a talajművelésre alkalmas napok számának növekedésében; stb. Napjainkra elmondható, hogy ezen kedvező hatások megléte igencsak kérdésessé vált.

### A SÍKVIDÉKI TALAJCSÖVEZÉS HAZAI SAJÁTOSSÁGAI

A művelési optimumokra kivitelezett nagy táblaméretű és az azokra telepített drénhálózatok, a rendszerváltást követő birtokstruktúra váltás következtében felaprózódtak. Ezt követően ezek a hálózatok már nem tudtak a tervezett üzemi feltételek szerint és gazdaságosan működni, bár problémák már a tervidőszakok alatt is megmutatkoztak, amelyek a későbbi üzemeltetésre is kihatással lehettek. Az V. ötéves tervidőszakban (1976-1980) a meliorációra fordítható támogatások elaprózva jutottak megyei szintekre. Megváltozott a szakigazgatás rendszere is, visszaszorult a központi szakmai irányítás, így több megyét érintően spontán, ötletzerűen folytak a meliorációs munkálatok (*Varga 1986*). A társulati főművek fejlesztése sem mindig a mezőgazdasági igényeknek megfelelően zajlott. A vízrendezési feladatokat sokszor nem a vízgyűjtő határhoz igazítva, hanem a helyi mezőgazdasági üzem igényeinek megfelelően végezték el – legtöbbször a funkcionális sorrend figyelmen kívül hagyásával. 1980 után a támogatások növekedni kezdtek, de az elaprózott kivitelezések megmaradtak (*Varga 1986*). A talajcsőrendszerek szakszerű üzemeltetését nehezítette, hogy egyes mezőgazdasági üzemek nem mindig tartották be a Megyei Tanácsok Növényvédelmi és Agrokémiai Állomásainak alapvető előírásait. Ilyen például a csatorna üzemi vízszintjének talajcső kifolyási szintje alatt tartása a kellő időszakban (*Zsakarovszky 1982*). A rendszerváltást megelőző években emellett már felmerült a telepített dréncövek karbantartási igénye is, ugyanis *Babics (1989)* szerint, már ekkor megmutatkozott, hogy a szűrőzetlenül telepített drének körülbelül fele igényelt volna szűrőzést, ami biztosította volna a dréncövek hosszútávú funkcióképességét. *Sziki (1985)* szerint számos példa bizonyítja, hogy a lokális elöntésekkel tarkított táblán a vízkárelhárítási tevékenységet csak a problémás területek részeken és azok közvetlen környezetén szükséges alkalmazni, ahol a kétfázisú talajállapotok jellemzőek. A tábla nem érintett részein a víz okozta károk még kritikus esetben sem jelentkeznek, tehát ezeken a helyeken vízelvezetésre nincs szükség. A tanulmány részletezi, hogy síkvidéki területeken a részleges talajcsövezés (céldrének) alkalmazása indokolt, azonban megvannak a korlátai. A céldrének koncepciójuk szerint a felszín legmélyebb területeiről gravitációsan vezetik le a vizet, így ha a csövek esését figyelembe vesszük, a kifolyási szint jóval a befogadó csatorna mértékadó vízszintje alá esik. *Fehér (1979)*

szerint síkvidéki kötött talajokon a megfelelően kivitelezett tereprendezés ellenére is kialakulnak terepegyenetlenségek, amelyekben a tél végi és tavaszi időszakokban felszíni belvízelöntések gyülekezhetnek össze. Tapasztalatai azt mutatták, hogy a síkvidékekre jellemző kis szintkülönbségek miatt keletkezett belvizek levezetési idejét 17 napnál rövidebb időre nem lehetett csökkenteni a fő befogadónak a tábláig való visszahatása miatt.

### A talajcsőhálózatok méretezési kérdései

A talajcsőhálózatok méretezése során igen fontos pontosan meghatározni a levezetendő vízhozamot, ami legfőképp a mikrovízgyűjtő terület nagyságától, a lehullott csapadék mennyiségétől, valamint a lefolyás mértékétől függ (*Sziki 1985*). A talaj kedvező vízgazdálkodási állapotának elérését a talaj hidrodinamikai jellemzőinek (Darcy-féle  $k$  vízvezető képesség;  $\mu$  drénezési porozitás) optimális értéken való tartásával érhetjük el (*Ambrus 1979*). Ha a talajban lévő többlet víz levezetéséhez mesterséges beavatkozásra van szükség, a felszín alatti elvezetéssel csak a teljes telítettség és a szabadföldi vízkapacitás különbségének (pF 0-2) megfelelő víztömeget lehet elvezetni (*Fehér 1983*). *Szabó (1972)* tanulmányában megfogalmazta kritikáját azal kapcsolatban, hogy a rossz szerkezetű, víz által kevésebb átjárható talajokon (vízáteresztő képesség  $10^{-6}$ - $10^{-9}$  cm/s) az elterjedten használt 15-20 méteres szívótávolságú drénezés helyett 2-6 méteres szívótávolság alkalmazandó. A szívótávolság meghatározásának alapvető lépése a hálózatot érő mértékadó vízhozam (elvezetési intenzitás) megállapítása. A kiépítendő rendszer mérete permanens szivárgáshidraulikai méretezési módszer alkalmazásakor a tartós felszíni vízterhelés, valamint a talajvíz terhelés meghatározásán alapul. A mikrodomborzat és a talajfizikai jellemzők táblán belüli inhomogenitása miatt még egy kisebb területet sem lehet egyetlen értékkel jellemezni, így a méretezésnél a mértékadó vízhozamot a tábla legjobban terhelhet (felszíni és/vagy talajvíz terheléséből) kiindulva kell felvenni (*Madarassy 1983*). A befogadó fajlagos vízhozam meghatározásánál külön figyelmet kell fordítani arra, hogy a felszíni és felszín alatti lefolyás eltérő összegyűlekezést eredményez egy csapadékeseményt követően (*Katona és társai 1989*).

A méretezés alapelveit figyelembe véve, bizonyos szempontból újra kell gondolni a hidrológiai (szélsőséges) folyamatok mentén történő tervezést. Napjainkban az emelkedő átlaghőmérséklet, a csökkenő fagyos napok száma, a szélsőséges/szeszélyes csapadékeloszlás egyre inkább növeli a mezőgazdasági területeink aszály- és belvíz-érzékenységét, miközben a mezőgazdaságilag művelt területeink talajvízviszonyai is jelentős változást mutatnak. *Madarassy (1983)*, *Dvorák (1979)* nyomán a csapadékesemény ideje és intenzitása szerint csapadékterhelési kategóriákat különböztetett meg. Ilyenek például a hosszú és rövid idejű állandó/változó intenzitású csapadékok, melyek természetesen más és más mértékben terhelik a vízelvezető rendszereket. Napjainkban a rövid idejű nagy intenzitású csapadék beszivárgása veti fel a legtöbb kérdést, ugyanis a kisebb beszivárgás miatt a felszíni lefolyás szerepe nő meg (felszíni vízrendezés). Ekkor, felszín alatti vízrendezés hiányában, a felesleges vizek mélyebb rétegekbe történő beszivárgása nem következik be. A jelenleg

alkalmazott kárkövető szemlélet (aszály és belvízkár kifizetések) és magatartás helyett, a preventív megoldások (árokcsűrözéssel kombinált sekély drénezés, mélylazítás, periodikus mélyművelés, vakonddrénezés, céldrénezés, komplex melioráció) előtérbe helyezése jelenthet kitörést. Ezzel egyidejűleg pozitív externáliaként várhatóan a földtulajdonunk is felértékelődne. Ahhoz, hogy a mezőgazdasági termelés biztonsága fenntartható legyen, nem elég gazdálkodói (üzemi) szinten elvégezni a szükséges beavatkozásokat, hanem nagyobb léptékű operatív (térségi) megoldások is szükségessé válnak (Pálfi 2004).

### A talajcsövezéssel kapcsolatos kutatások a tervidőszakok alatt

A tervidőszakok alatt a meliorációs beruházások szakmai támogatására számos kutatás indult. Ezek leginkább a felszín alatti vízrendezés terméseredményekre való hatását, a só és a tápanyagmozgásra gyakorolt szerepét, illetve a drének vízelvezető, vagy kettős működtetésével történő vízvisszapótlás lehetőségeit, összességében a beavatkozások hatékonyságát vizsgálták. A kutatók kiemelték, hogy a beavatkozások előtti és utáni állapotok összehasonlító értékelése, teljes körű szakmai szempontoknak megfelelő folyamatos adatgyűjtéssel és adatszolgáltatással valósítható meg (Bukovinszky 1983). A kutatások résztvevői egyetemek (DATE, Karcag; DATE, Szarvas; GATE, Gödöllő; KATE, Keszthely stb.); kutatóközpontok, mint a VITUKI, Budapest; ÖKI, Szarvas; MTA TAKI, Budapest, valamint leginkább a megyei Növényvédelmi és Agrokémiaili Állomások voltak. A kísérletek a beruházásokat végzett állami gazdaságok és mezőgazdasági termelőszövetkezetek művelt területein, vagy az egyes kutatóintézetek és egyetemek kiemelt kísérleti helyszínein (pl. Karcagpusztai kísérleti területek, Szarvasi Állami Tangazdaság hidrológiai telepe stb.) zajlottak. Nyíri és Fehér (1977) tervei alapján olyan tartamkísérletek kerültek beállításra a Karcagpusztai komplex meliorációs modelltelepen, amelyek lehetőséget adtak a kilügzött talajréteg mélyülési sebességének, és a különböző javítási eljárások mellett hosszabb távon elérhető termések meghatározására. A szarvasi DATE Mezőgazdasági Főiskolai Kara különféle növényfajok és a drén méretezés (15, 20, 25 méteres drénkiosztás, 0,0-0,1% esés) összefüggése mentén végzett vizsgálatokat szolonyeces réti talajon. Eredményeik azt mutatták, hogy az egyes növényfajok különbözőképpen reagáltak a drénezésre. A különböző dréntávolságok alkalmazása a kapcsolódó talajművelés szerint lehetnek kedvezőek, vagy éppen semlegesek a terméseredmények alakulására (Bukovinszky és társai 1983). A rendszerváltás előtt a kutatások frekvenciált területe volt a drének kettős működtetésének kérdése. A vízjogi engedély köteles tevékenység szakszerű alkalmazása, csak szigorúan és pontosan megtervezett meliorációs szolgáltatással volt elérhető, csak az arra alkalmas talajokon (Fehér és Szalai 1986). A talajtani kérdések mellett, Csaplár (1989) a talajcsövezés vizspótlásra való felhasználhatóságának műszaki feltételeit vizsgálta. Mérései alapján megfogalmazta, hogy a vízvisszapótlásnál a nyílt árokból dréncsőbe kerülő víz nyomásvesztése igen jelentős. 100-120 méternél hosszabb csövezeték esetén a nyomásvesztés akkor lehet,

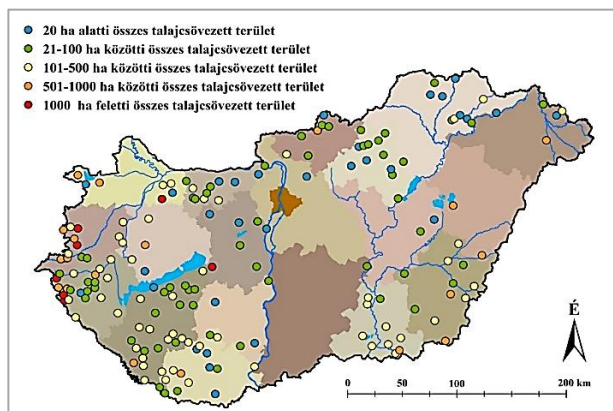
hogy nem jön létre érdemi vizspótlás a további szakaszokban. Érdekes tapasztalatokat szerzett Mile (1986) a Békéscsabai Május 1. Mgtsz területein folytatott vizsgálatok során, ahol réti-öntés, valamint öntés talajokon 4 évig alkalmazták a drének keresztüli vízvisszapótlást. Az eredmények biztatóak voltak, különösképpen az 1984-es aszály idején, amikor is búza és a kukorica esetében terméstöbbletet értek el, míg a zöldbab esetében nem, annak sekélyebb gyökerezőképessége miatt. Az évenként megismételt tavaszi és őszi talajvizsgálati eredményeik alapján megállapították, hogy a felszínhez közeli talajrétegben a Na<sup>+</sup> kationok káros mértékben felhalmozódtak, amely a nem megfelelő minőségű visszatáplált öntözővíz következménye lehetett. Molnár (1987) megfogalmazta a ma is helytálló megállapítását, miszerint az Alföldön a víztöbblet és a vízhiány egy éven belül is jelentkezhet. Kísérleteik során a Nádudvari Vörös Csillag Mgtsz 1200 hektárnyi területén végeztek dréneken keresztüli vízvisszapótlást. Tapasztalataik szerint az aszálykárok mérsékelhetőek voltak, amely fő kritériumai a megfelelő mélylazítás, a drének tenyészidőszakon kívüli lecsapolása, valamint a megfelelő minőségű öntözővíz használata volt. Tanulmányukban ők is kihangsúlyozták, hogy a gyakorlatban a drének keresztüli vízvisszapótlás csak rövid ideig alkalmazható, ellenkező esetben a káros sók felhalmozódnak a talaj felsőbb rétegeiben.

### A meliorációs beavatkozásokkal érintett területek

A talajcsövezett területek országos területi elhelyezkedéséről közel 40 éve nem készült átfogó térképes és írott adatbázis vagy kataszter Primás és társai (1983) „Magyarország talajcsövezett területeinek katasztere” c. műve óta. A melioráció újszerű értelmezéséhez azonban mindenképpen ismernünk kellene az egykor kezelt területek elhelyezkedését és állapotát. A kataszter korábbi kiadása 1980-ig tartalmazza hazánk talajcsövezett területeinek leírását táblázatos formában (Wittmann és társai 1981). Addig az időpontig 175 településen 40 000 ha mezőgazdasági terület talajcsövezésére került sor, a telepített drének összes hossza mintegy 16 millió folyómétert tett ki. A táblázatok feldolgozása során szerkesztett térképen (1. ábra) jól látszik, hogy elsősorban a dombvidéki vízrendezés dominált, a síkvidéki területeink drénezése az 1980 utáni tervidőszakokban vált nagyobb volumenűvé. A rendszerváltásig telepített 150 ezer hektárból 110 ezer 1980 után került kivitelezésre, amelyet segített az is, hogy 1981-től a körkörös bordázatú műanyag talajcsövek külföldről való beszerzése helyett, azok hazai gyártása is elkezdődött a Borsodi Vegyi Kombinát szekszárdi gyáregységében, ami az OVH-69 Műszaki Feltételek előírásával megkapta a dréncövek és a beépítésükhöz szükséges idomok gyártásának hazai engedélyét (Színay 1983b). A kataszter szerkesztői az ötvenkénti rendszeres bővítését és továbbfejlesztését javasolták, azonban jelenlegi ismereteink szerint erre nem került sor.

A talajcsövezett területeket tartalmazó kataszter kialakítása mára térinformatikai adatbázis létrehozásával oldható meg, amely elsődleges tartalma egy térképi állomány, ami kiegészül attribútum adatokat tartalmazó (alapadatokkal a tervdokumentációból + terepi állapotfelmérés eredményeivel) pont, vonal vagy poligon objektumokkal. Egy

ilyen adat tartalmú kataszteri adatbázis már alkalmas arra, hogy térbeli összehasonlító vizsgálatokat végezzünk el, például a belvízzel érintett területek és a talajcsövezett területek összefüggéseinek, vagy a drénezett területek talajvízviszonyainak változásának vizsgálatával.

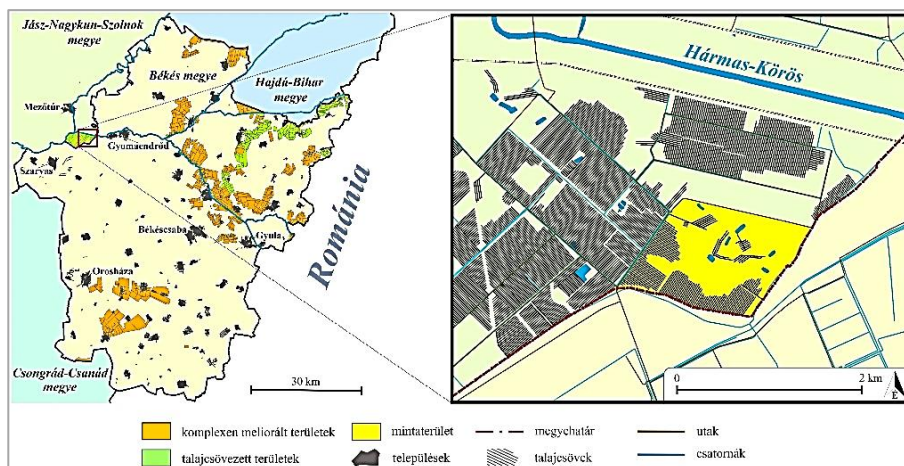


1. ábra. A talajcsövezési beruházásokkal érintett települések térképe 1980-ig (A szerző szerkesztése Primás és társai (1983) nyomán)  
Figure 1. Map of the tile drained areas at the affected settlements until 1980 (Edited by the Author based on Primás et al. 1983)

Az egykor drénezett területeink jelenlegi funkcióképessége és üzemeltethetősége igen kérdéses. Tekintve, hogy az elmaradt meliorációs szolgáltatásokkal az érintett területek vízgazdálkodási tulajdonságai vélhetően a meliorációs beruházások előtti „kiinduló” állapotot tükrözhetik. Fontos kérdés a témakör újra értelmezése, amelyre jelenlegi, valamint jövőbeni kutatásaim segíthetnek választ adni.

## MINTATERÜLET

A kutatási területként választott talajcsövezett terület a Jász-Nagykun-Szolnok megyei Mezőtúron található (2. ábra), ami a komplex meliorációs beruházások során a Békés megyei székhelyű Dózsa Mgtsz (Szarvas) kezelésébe tartozott. Az üzemi meliorációs tervét 1987 áprilisában az AGROBER Békés Megyei Tervező Iroda készítette, majd a KÖVIZIG elvi vízjogi engedélyével a kiviteli tervek alapján a beruházás két ütemben valósult meg (1988, 1989). A meliorációs művek vízjogi üzemeltetési engedélyt csak 1994-ben kaptak, vagyis 26 éve üzemelnek, üzemelhetnek engedélyesen.



2. ábra. Békés megye talajcsövezett területeinek térképe (balra), valamint a kiválasztott mintaterület elhelyezkedése (jobbra)  
Figure 2. Map of the tile drained areas of Békés County (left) with the location of the pilot area (right)

A kiválasztott 182 ha kiterjedésű táblán a vízrendezési munkák kivitelezése során a tábla két oldalán nyílt gyűjtős talajcső hálózat, míg a tábla belső területein 5 db céldrén került kialakításra. A táblán telepített drének hossza 33,2 kilométer, számuk 137 db. A vizsgált Mezőtúri II. sz. csatorna mentén a hullámos falú dréncsövek száma 46 db, telepítési távolságuk 20 m, telepítési mélységük 85-120 cm között változik. A terület az egykori vízrendezés ellenére jelenleg is belvízzel veszélyeztetett, amelyet az elérhető légifelvételek, valamint a területen található belvízlevezető vápák (5-7 db) is bizonyítanak. A vápák rendszeresen, már ősszel behúzásra kerülnek a táblán, ami igen árulkodó. A vápák „működése” során a vízerózió több köbméter értékes termőtalajt hord le a területéről, ezzel előidézve a befogadó csatorna feltöltődését, illetve akadályozva a csatornában felgyülemlett vagy kormányzott vizek szabad elfolyását. Sajnálatos tény, hogy a csatorna menti növényzet irtása során (kaszálással, égetéssel) a még ép drénkifolyó csövek is egyre inkább fogyatkoznak. Jelenleg a területen szántóföldi növénytermesztés folyik.

## VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A kutatáshoz szükséges adatgyűjtés két szakaszból állt: az előzetes adatgyűjtésből (a meliorált területek kiválasztása, majd a mintaterületre vonatkozó dokumentációk beszerzése), valamint terepi adatgyűjtésből a mintaterületen. A részletes terepi vizsgálatokra 2016-ban (Bozán és társai 2016) és 2017–2020 között került sor.

### Előzetes adatgyűjtés

Békés megye meliorált és talajcsövezett területeinek lehatárolását, valamint az előzetes adatgyűjtést a Békés Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság Vízikönyvi és Vízvédelmi Osztályának Vízikönyvi Okirattára tette lehetővé. 22 db meliorációs tervcsomag került átvizsgálásra, amelyek tartalma: a talajcsövezési helyszínrajzok; talajtani szakvélemény; a csatornák és kezelő utak ábrázolt, illetve írott hossz és keresztmetszvényei; műtárgy kimutatások és műszaki rajzaik; a talaj humusz- és karbonát-tartalom kartogramok; talajvíz kartogramokat; valamint a talajcsövek írott hossz szelvényei. A tervcsomagokban megtalálható az iratjegyzék is, amely dátumra pontosan tartalmazza a



meliorációs beruházás lefolyásának minden engedélyes lépését (elvi-, létesítési- és üzemeltetési engedélyek, átadás-átvételi jegyzőkönyvek). Az adatgyűjtést követően a részletes és átnézetes helyszínrajzok térinformatikai feldolgozásával (georeferálás) beazonosításra kerültek azon mezőgazdaságilag művelt táblák, táblacsoportok, amelyek meliorációval, azon belül is talajcsövezéssel érintettek Békés megyében (lásd 2. ábra). A vizsgálatokhoz tartozott a távérzékelt adatok (FÖMI ortofotók a 2000, 2005 és 2007 évekből; Google Earth felvételek) vizuális interpretációval történő kiértékelése, illetve a területekre vonatkozó aktuális egyéb térbeli információk összegyűjtése. Ezek mellett feldolgoztam a mezőtéri mintaterületre vonatkozó Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer (DKTIR) labor-, valamint terepi eredményeinek adatait, amelyet az ATK Talajtani és Agrokémiai Intézete (TAKI) biztosított.

### Terepi adatgyűjtés a kiválasztott mintaterületen

#### Csőkamerás felvételek

A mintaterületen talált ép talajcső kifolyók torkolati szakaszának csőkamerás felvételezését végeztük el annak érdekében, hogy megállapítsuk, gátolva van-e az esetlegesen keletkező drénvizek távozása a rendszeren keresztül. Fontos szempont volt *Sojak és Ivarson (1980)* nyomán a különféle üledékek, valamint kiválások megfigyelése a csövek falán (pl. a vas- vagy a mangán-oxid). A csőkamerás felvételezést vízálló csőkamera (állítható fényerejű LED-es világítás, 5 m hatótávolság, 800x600 pixel felbontás) segítségével hajtottuk végre. A dréncsövek szűrőzésének ellenőrzéséhez az egyik működő drén felett talajszelvényt is feltártunk.

#### Víz mintavételek

A mintaterületen a téli-tavaszi időszakban megfigyelhető néhány dréncső működése, így víz mintavételezés történt annak érdekében, hogy megfigyeljük a téli időszakban távozik-e többlet só, tápanyag, vagy lebegő anyag a drénvizekkel, amely a drének kilúgozási szerepét bizonyítaná. Célunk volt a mintázott vizek kategorizálása öntözővízként való alkalmasság szempontjából (*Filep 1999*) is, ami a dréneken keresztüli vízviesség egyike legfőbb kritériuma. A mintavételezés során a befogadó csatornából, a drén csurgalékvizekből, valamint a felszíni belvízlevezető vágásokból gyűjtöttünk víz-mintákat, melyek elemzése a NAIK ÖVKI akkreditált Környezetanalitikai Központ Vizsgáló Laboratóriumában történt a vonatkozó magyar szabványok szerint. A vizsgált paraméterek: pH, EC, hidrogén-karbonát, karbonát, ammónium-ion, ammónium-nitrogén, nitrátion, nitrát-nitrogén, nitrition, nitrit nitrogén, összes nitrogén, ortofoszfát-ion, ortofoszfát-foszfor, összes foszfor, összes száraz-anyag, összes oldott-anyag, összes lebegő-anyag, klorid, szulfát, Ca, Mg, K, Na. A drének vízhozama a mintavételkor igen változó volt, a legnagyobb 18-22 l/óra, de voltak kisebb vízhozamú (6,5-7,5 l/óra) dréncsövek is. Az alacsonyabb értékek szinte a mintázhatóság határát jelentették. Összehasonlításként

említhetjük *Lendvai és Avas (1983)* kísérleteit, akik 1800 l/órás vízhozamú dréneket mintáztak. A vízhozam meghatározást a mintavételi edény egységnyi térfogatának megtöltésével eltelt idő alapján végeztük el.

#### Talajmintavételek

A mintavételezések során a dréncső felett nyitott talajszelvény falából (7 mélységből, 0-130 cm) 2 ismétlésben bolygatatlan talajmintákat vettünk a szivárgási tényező laboratóriumi meghatározásához. 3 drén feletti, 3 drén közötti, valamint 3 kontroll pontból fűrt talajmintavételezés történt (10 centiméterenként 0-100 cm mélységből) a talaj kötöttségének, illetve sóviszonyainak meghatározása céljából. A talajmintavételek 2019 augusztusában vételeztük, amely nyári időszakban a felfelé mozgó párologtató vízforgalom lehetett jellemző. Az Arany féle kötöttség ( $K_A$  szám), az összes oldott sótartalom és a talajkolloidok felületén adszorbeált Ca, K, Mg, Na ionok vizsgálatát a vonatkozó magyar szabványok szerint végeztük el (rendelet MSZ-08-0205:1978, MSZ-08-0206:1978, MSZ-08-0214-2:1978 (AAS-lángfotometria)).

#### Távérzékéletes adatgyűjtés

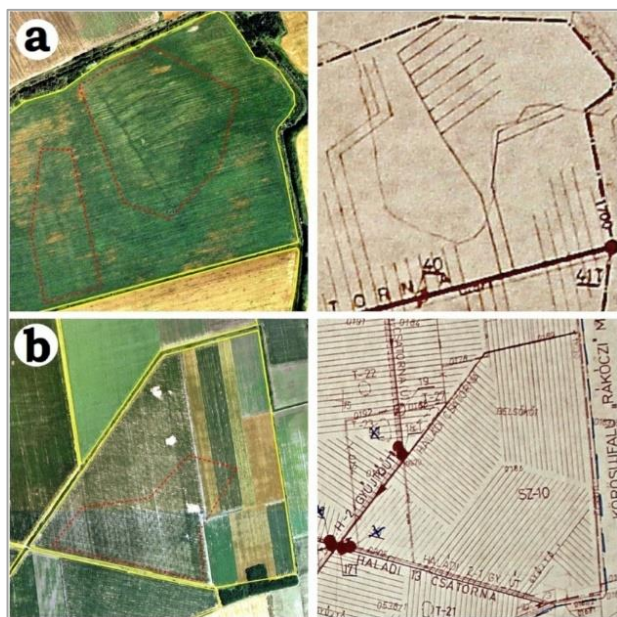
##### Drónos felvételek

A távérzékelt adatok szélesebb körű alkalmazásához légi felvételezéseket hajtottunk végre egy merevszárnyú Trimble UX5 HP, valamint egy forgószárnyas DJI Phantom 4 drónnal, amelyek közül az előbbi 36 megapixel felvételek készítésére képes (RGB+NIR) Sony Alpha 7-es kamerát hordozott, utóbbi pedig 12 megapixel RGB+NIR felvételek készítésére alkalmas. A mintaterület légifelvételezése 8 időpontban történt, amely során azt vizsgáltuk, hogy láthatóak-e olyan talajnedvességbeli különbségek a felszínen, amelyek a dréncsövek nyomvonalát kirajzolhatják, azok megfelelő működése esetén. Így egy csapadékeseményhez kötött felvételezési protokollt felállítva lehetőség nyílik légifelvételek alapján lehatárolni a (működő) talajcsövezett területeket, illetve a vegetációbeli fejlettségi különbségeket.

## EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

### Az előzetes adatgyűjtés eredményei

A Vízikönyvi Okirattárból származó talajcsövezési helyszínrajzok alaptérképre történő georeferálásával 53 000 ha komplexen meliorált területet válogattam le Békés megyében (lásd 2. ábra), amelyből 14 300 ha talajcsövezett. Az elérhető adatok alapján elmondható, hogy a talajcsövezett területek elsősorban a Körösök-közébe koncentrálnak. A térképi dokumentációk ortofotóra történt georeferálása során azt tapasztaltam, hogy a talajcsövezési helyszínrajzokon látható talajcsövek nyomvonalát, azzal megegyező mintázatban több területen is kimutatja a vegetáció (3. ábra). A DKTIR adatbázis feldolgozása során bizonyossá vált, hogy a mintaterület talaja hidromorf jellegű, szikesedésre hajlamos réti talajtípus.



3. ábra. Részletes talajcsövezési helyszínrajzzal validált talajcső nyomvonalak (Túri és társai 2018)

(Megjegyzés: a: céldrén Zsadányban, b: meződrén Körösújfalú közelében)

Figure 3. Tile drain paths validated by detailed drainage plan documentations (Túri et al. 2018)

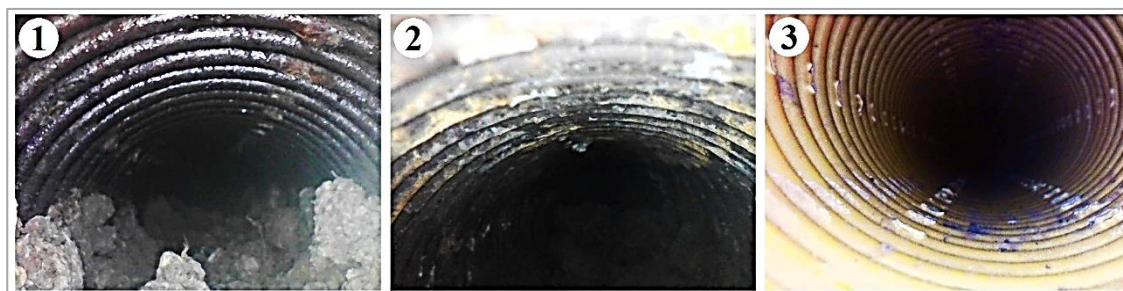
(Note: a: targeted drains, b: parallel drains)

### A terepi adatgyűjtés eredményei

A terepi állapotfelmérés során meghatároztuk a Mezőtúri II. sz. csatornába futó dréncsövek helyzetét annak érdekében, hogy a dréncső feletti és közötti, valamint a kontroll területek összehasonlítását elvégezhessük. Az első terepi felmérés során azt tapasztaltuk, hogy csupán 5 db dréncső kifolyó látható szabad szemmel. A detektálást több időpontban is elvégeztük, végül az azonosított dréncsővezetők vagy maradványaik száma 42 db-ra nőtt a tervekben szereplő 46-ból. Tapasztalataink szerint a talajcsövezési helyszínrajz csak támpontként szolgálhat a dréncsővezetők megtalálásához, ugyanis a tervdokumentációban szereplő állandó 20-20 méteres szívótávolságok több cső esetében eltolódtak, vagyis előfordult ~15 és ~25 méteres csőtávolság is.

### Csőkamerás felvételek eredményei

A Mezőtúri II. sz. csatorna mentén elvégzett csőkamerás vizsgálatok jó eredményeket hoztak. A megfelelő kifolyóval rendelkező öt dréncső állapota igen jónak mondható az általunk vizsgált 4,5 méteres hosszban. Az elkészült fotókon a perforációk környékén láthatóak kiválások, azonban ezek eltömődést nem okoztak. A felvételek nagy részén a drének eltömődés és szennyeződésmentesnek mutatkoztak, de találtak a dréncsővezetők első 50 centiméterében üledéket tartalmazó csövet is. A csőkamerás vizsgálataink alapján a szabad kifolyóval rendelkező dréncsöveket jó állapotúnak, víz által átjárhatónak mondhatjuk (4. ábra). A megtalált, de eltemetett dréncsővezetők legtöbbje üledéket tartalmazott.



4. ábra. A 32 éve lefektetett dréncsövek állapotvizsgálata

(Megjegyzés: 1. Üledékkel eltömődött drén; 2. Drén, amelyen az okkeresedés jele tapasztalható;

3. Tiszta, a perforációk mentén enyhén kiválásos dréncső)

Figure 4. Condition assessment of drainage pipes laid 32 years ago

(Note: 1. Sediment accumulation in the drain tile, 2. Iron-ochre mineral sediment on the inner surface of the drain tile, 3. Clear drainage pipe with a slightly mineral sedimentation on its perforations)

A perforációk eltömődésének lehetőségét és a dréncsöveken található kiválások okait is megvizsgáltuk. Talajszelvényt nyitottunk, mely bizonyította, hogy a 32 éve szűrőzetlenül telepített dréncső perforációi máig víz által átjárhatóak, vagyis eltömődés mentesek. Következésképpen, az időszakos többletvíz elfolyását a területről nem a dréncsövek akadályozzák, mindinkább az igen rossz vízáteresztő képességű, több rétegben is tömörödött talaj, annak ellenére, hogy a területen gazdálkodó elmondása szerint a terület mélylazítását időnként elvégzik. Mindez azt is bizonyítja, hogy a komplex melioráció során végzett felszín alatti vízrendezési művek a mai napig működhetnek, miközben a kémiai talajjavítás hatása mára eliminálódott, mellyel az ad hoc jellegű talajlazító beavatkozások viszonylag rövid időn belül hatásukat veszítik.

### A vízmintavételek eredményei

Öntözővíz minősítés szempontjából (Filep-féle osztályozás) a táblán (vápákban) keletkező, összegyülekezett belvizek jó minőségi kategóriába estek öntözhetőségi

szempontból, amely a befogadó vizét hígítja. A befogadóból származó vízminta eredmények szerint annak vize már a feltételeken alkalmazható minőségi kategóriába esik. Vizsgálataink alapján a dréncső minták rossz minőségi kategóriákba esnek, vagyis azok csak javítás után válhatnak használhatóvá. Ez a felszíni vizek védelmével kapcsolatban több környezeti kérdést is felvet, ugyanis a felszíni lefolyásból és a felszín alatti dréncsőből származó kevert vizek közvetlen vagy közvetett hatással bírnak. Eredményeink szerint a dréncső fajlagos elektromos vezetőképessége (átl. 2300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a februári mintákban majdnem háromszorosa volt a csatorna mintáiból származó értékeknek (átl. 780  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), a márciusi minták esetében pedig azon kívül, hogy emelkedett a vezetőképesség értéke, arányaiban véve már csak kétszeres volt a különbség (átl. 3300 és 1630  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). A vezetőképesség értékek februárról márciusra való növekedése a környezeti hőmérséklet növekedésével, vagy a felszín alatti elvezető víz tartózkodási idejével hozható összefüggésbe. A

fajlagos elektromos vezetőképességet nézve nagyon árulkodó, hogy a befogadókhöz képest a drénvizek kétszer-háromszor nagyobb értékeket mutatnak, amely igazolja a drének szerepét a kilúgás folyamatában. A befogadó

csatorna vizéhez képest többletként jelentkezett a drénvízben a nitrácion, az összes nitrogén, az összes lebegőanyag, a szulfát, a kalcium, a magnézium és a nátrium (1. táblázat).

1. táblázat. A többletet mutató elemek átlagértékei a vízmintákban  
Table 1. Mean values of the examined elements of the water samples (drainage and recipient water)

		EC	Nitrácion	Összes nitrogén	Összes lebegőanyag	Szulfát	Ca	Mg	Na
		$\mu\text{S/cm}$	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2018	drénvíz	2 300	130,5	34,5	14,2	1 207,0	144,0	87,2	296,7
február	befogadó	780	18,4	6,0	38,0	189,0	54,3	21,8	80,0
2018	drénvíz	3 300	46,1	12,3	88,6	2 074,0	233,2	155,3	442,0
március	befogadó	1 630	6,7	2,8	37,2	569,0	133,5	52,7	178,5

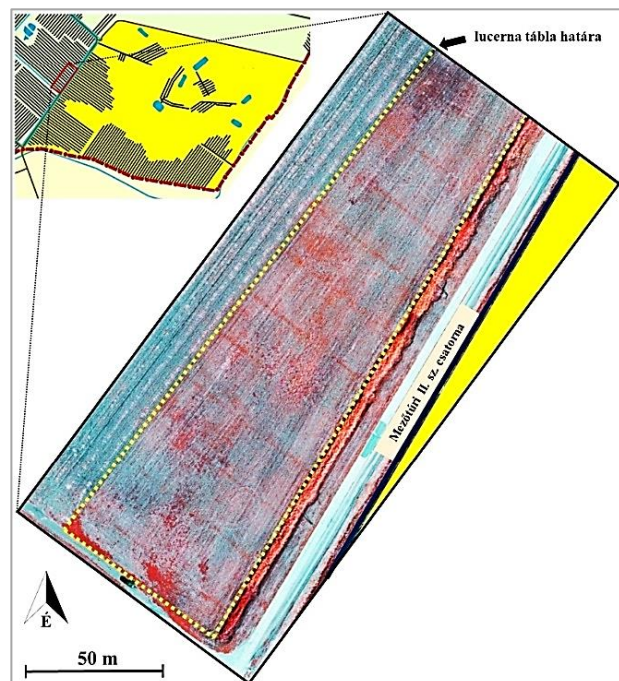
### A talajvizsgálati eredmények

A bolygatatlan talajmintákból meghatározott szivárgási tényező értékek igen árulkodók a vizsgált dréncső feletti talajszelvényben. A  $k$  tényező a vizsgált talajszelvény egyes szintjeiben annyira alacsony, hogy cm/nap érték helyett mm/nap-ban kerültek meghatározásra. A legmagasabb szivárgási tényezővel rendelkező talajsztint közvetlenül a dréncső feletti és alatti szintekből került ki, de értékekben kifejezve ez is csupán 1,3-3 mm/nap. A dréncső feletti talajszelvény több rétege vízzárónak tekinthető, néhány minta esetében a 15 napos vizsgálati idő alatt a mintavételi patronban található talajmintán egyáltalán nem szivárgott át a víz. Ennek fényében a terület periodikus mélyművelése rendkívül indokolt, annak érdekében, hogy a talaj levegő- és vízháztartása javuljon. Felvetődik továbbá a kérdés, hogy a működő drének esetében, amelyek mintázhatóak voltak, hogyan és milyen csőszakaszokban jut be a többlet víz. A fűrt talajmintákból (97 db) meghatározott Arany-féle kötöttségi szám szerint a mintaterület talaja 88%-ban nehéz agyag, 12%-ban agyag fizikai féleségű. A talajmintákban az összes oldható só tartalom értékelése alapján mind a drének feletti, mind a drének közötti és a kontroll területeken a közepesen sós és sós talajsztintek (összes vízben oldható só tartalom 0,3-0,74 m/m%) az 50 cm alatti mélységben jelennek meg. Ez a legtöbb természetesen növénykultúra gyökerének növekedését korlátozza, így terméscsökkenő hatással bír. Az eredmények szerint az 50 centiméternél sekélyebb talajrétegek nem tartalmaznak káros mennyiségben sókat. A magasabb só tartalmú talajsztintek megjelenése nagy szórást mutatott a három vizsgált kategóriában, nincs egyértelműen kimutatható különbség a drénezett és nem drénezett táblarészletben, de a mélyben sósság jellemző.

### A távérzékelés adatgyűjtés eredményei

A mintaterület felszíni (csupasz, növényzettel borított) nedvességviszonyainak vizsgálatára több időpontban végeztünk drónos légifelvételést. Általánosan elmondható, hogy csapadékeseményt követően a csupasz talajfelszínen igen jól látszik a terület beázási képe. Megfigyelhető volt, hogy hol vannak olyan területek, amelyek jobban átáztak és olyanok, amelyek kevésbé (vagy már száradnak), de a drénekre utaló vonalvezetést nem tapasztaltuk. Éppen ezért növényzetborítás idején is felvételeztük (NDVI térképeket készítve) a területet a fejlődésbeli különbségek kimutatásában bízva. 2018 áprilisában a dréncsövek talajnedvesség módosító hatását nem tudtuk meggyőzően bizo-

nyítani. Valószínűsíthető, hogy a búza sekély gyökerzetének köszönhetően a dréncsövek közvetlenül nem befolyásolták a felszínközeli gyökérzóna nedvességviszonyait. Ugyanakkor a területen kialakult belvízelöntések, vagy a tartós kétfázisú talajállapotok nyomai igen jól megfigyelhetők voltak, amely a foltszerűen jelentkező alacsonyabb fotoszintetikus aktivitásában jelentek meg. Meg kell jegyezni, hogy a belvízelöntések megjelenése alapvetően teszi kérdésessé a drének működésének hatékonyságát, vagy éppen a talaj megfelelő levegő-víz arányát biztosító helyes agrotechnika alkalmazását. Látható, hogy a sekély gyökerzési mélységű kultúrák esetén nem jártunk sikerrel, éppen ezért 2018. augusztusában a mintaterület mellett található lucernatábla légifelvételést végeztük el. Tapasztalatunk alapján a kaszálást követően a tarlóhoz képest gyorsabb növekedésű vegetatív sávok jelentek meg a feltételezett talajcső nyomvonalak mentén. A „hamis színes” 5. ábra jól szemlélteti a talajcsövek nyomvonalát, ahol a növényzetmentes felszín kék, a növényzettel borított pedig vörös árnyalattal jelenik meg.



5. ábra. A lucernatábla hamis színes kompozit képén vörössel kirajzolódó talajcső nyomvonalak  
Figure 5. Drain pipe paths outlined in red in a false coloured composite image of an alfalfa field

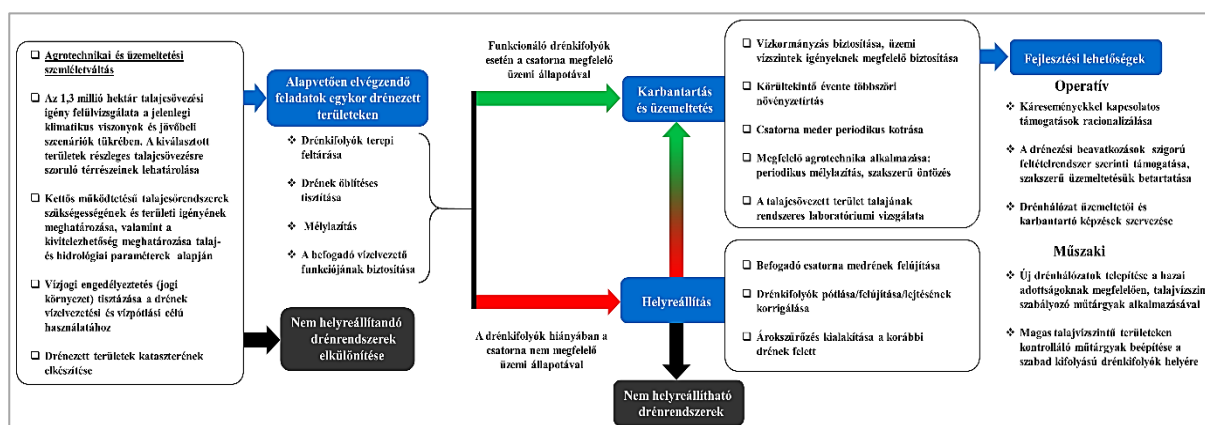


Jól látható, hogy a csőnyomvonalak "markere" kizárólag a vegetáció, ugyanis a lucerna táblától ÉNy irányba haladva a csövek benyúlnak a más művelésű terület alá is, de ott már nincs látható nyomuk a felszínen. Ennek oka visszavezethető arra, hogy a lucerna gyökérzete a mélyebb talajrétegekbe is képes lehatolni, és így jelezni tudja a vízellátottságbeli különbségeket a drének közvetlen környezetében. Mindez tapasztalható tarlóterületeken is, ahol különféle gyomnövények, árvalékések jelzik a dréncsővek helyét.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmányom célja annak értékelése, hogy az alkalmazott terepi vizsgálatok alapján megállapítható-e az egykor telepített talajcsőhálózatok helye, értékelhető-e a működési hatékonyságuk, illetve van-e szerepük a tábla szintű vízvezetésben vagy éppen a vízpótlásban. Az értékelést nagyban elősegítették a hazai tapasztalatokat és kutatási eredményeket bemutató szakanyagok – jellemzően a rendszerváltás előtti időszakból –, amelyek kiemelten foglalkoztak a talajcsőhálózatok fenntartási és üzemeltetési kérdéseikkel. Vizsgálataim alapján egyértelművé vált, hogy az irányelvekkel ellentétben, napjainkra, a felszín alatti vízrendezési művek elhanyagoltsága általánosnak tekinthető. Mindezek alapján azt feltételezzük, hogy a drénhálózatok funkciójukat veszítették. Ez részben igaz is, ugyanis a drénkifolyók és a gyűjtőcsatornák állapota erre enged következtetni, azonban a terepi vizsgálataim eredményei mégis biztatónak mondhatók. Véleményem szerint a drénhálózatok újbóli aktíválásának létjogosultsága nehezen kérdőjelezhető meg, azonban ez a kijelentés nem általánosítható. Számos termőhelyi adottságot kell figyelembe vennünk, mely alapján megítélhető egy-egy meliorációs mű újbóli üzembe helyezése. Belvíz-gazdálkodási szempontból kiemelt szerepe van a talajok kedvezőtlen szivárgási viszonyainak javításának, mely szorosan összefügg a kedvezőtlen sóösszetételű talajvizek gyökérszónáig történő emelkedésével (kritikus talajvizszint). Ezzel összefüggésben a

többletvízek talajba szivárogtatását elősegítő agrotechnika alkalmazása válik szükségszerűvé, amelynek hiányában lehetetlenné válik a drénhálózattal való kapcsolat megteremtése. További kritikus pont a drének hosszirányú átjárhatóságának biztosítása, amely jellemzően a kifolyók megsemmisüléséből, eltömődéséből adódik, ami viszonylag könnyen orvosolható. Természetesen a nyílt árkos vízvezető rendszerek karbantartási munkálatai sem maradhatnak el. Ezen tényezők figyelembevételével az általunk vizsgált mintaterület drénjeinek és a befogadó csatorna együttesének hatékonyságát 20-30%-ra becsülhetjük, miközben maga a drénhálózat működőképesnek tekinthető. A mintaterületen szerzett tapasztalatok alapján elmondható, hogy a nagy kötöttségű talajok miatt kialakuló kedvezőtlen szivárgási viszonyok javítása komplex szemléletet követel (agrotechnikai beavatkozások, kémiai talajjavítás stb.). Ezen beavatkozások elmaradása esetén a talajvízháztartás szabályozása még a drénkifolyók és befogadók helyreállítása után sem realizálható. A mintaterület tipikus példája annak, amikor egy gazdálkodó szántóföldi növénytermesztést folytat a területe alatt húzódó drének figyelembevétele nélkül. Őszszegésként elmondható, hogy az általunk vizsgált talajcsövezett terület állapotfelmérésre irányuló módszereink adaptálhatók további talajcsövezett területek komplex értékelésére. Ez alapján kategorizálható, hogy milyen beavatkozások elvégzése lenne alapvető az évtizedekkel ezelőtt telepített és sokszor magára hagyott drének funkcióképessé tételéhez. A múlt tapasztalatai és az állapotfelmérési eredményeinkből leszűrhető tanulság alapján elmondható, hogy a drénezett területek bármi nemű használatba vételének, rekonstrukciójának, új drénrendszerek kiépítésének csak megfelelő karbantartás és üzemeltetés mellett van létjogosultsága. Ebben segít a 6. ábrán bemutatott feltételrendszer, amely támpont lehet a különböző állapotú drénhálózatok kezelési koncepcióinak kidolgozásához (6. ábra).



6. ábra. A dréncövezett területek használatának és üzemeltetésének jelenlegi feltételrendszere  
Figure 6. Flow chart of the current system of conditions for the usage and operation of tile drained areas

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki Prof. Dr. Rakonczai János doktori témavezetőmnek (SZTE Földtudományok Doktori Iskola); Dr. Gombos Béla témavezetőmnek (SZIE AGK, Szarvas; Mezőgazdasági vízgazdálkodási szakmérnök

képzés), Dr. Barta Károlynak a bolygatlan talajmintákkal kapcsolatos szakmai támogatásért (SZTE-TTIK-TFGT), a NAIK ÖVKI munkatársainak (Dr. Bozán Csaba, Dr. Kun Ágnes, Kerecsi György, Kajári Balázs, Körösparti János), a NAIK ÖVKI KAK Laboratóriumnak. A feladat végre-



hajtását az O14230 Mezőgazdasági vízgazdálkodás fejlesztését (öntözéses gazdálkodás, belvízgazdálkodás, földhasználat racionalizálás) célzó kutatások c. téma; az Agrárminisztérium Kutatói Utánpótlást Elősegítő Programja és a GINOP 2.3.3-15-2016-00042 projekt támogatja.

## IRODALOMJEGYZÉK

*Ambrus L.* (1979). A drénezés elméleti és gyakorlati kérdései franciaországi tanulmányutak tapasztalatai alapján. *Hidrológiai Közöny*. 59. évf. 3. szám, pp. 103-110.

*Babics T.* (1989). Drének öblítéses tisztítása. *Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 8 (1) Agroinform, Budapest. ISSN 0238-8979, 15-17.

*Bognár N., Geredy E.* (1989). Kettős működésű talajcsőrendszer kísérleti megfigyelése kötött talajon. *Agrokémia és talajtan*, 38 (1-2), 294-298. ISSN 0002-1873

*Bozán Cs., Körösparti J., András G., Túri N., Valentinyi K., Fabó I., Fehér F.* (2016). Meliorációs tervvel rendelkező területek felmérésének előkészítése - Megvalósíthatósági tanulmányterv. Készült az Országos Vízügyi Főigazgatóság megbízásából. NAIK ÖVKI, Szarvas.

*Bukovinszky L.* (1983). A melioráció utáni teljesítménynövekedés tervezési problémái és lehetőségei. *Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 2 (3) Agroinform, Budapest. ISSN 0230-9203, 17-20.

*Bukovinszky L., Kun A., Rekesztő P.* (1983). A drénezés és a talajművelés hatása a terméseredményekre és a talaj sóforgalmára szolonyeces réti talajon. *Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 2 (3) Agroinform, Budapest. ISSN 0230-9203, 13-17.

*Dvorák, P.* (1979). Hidraulicseszkie metodü proektyirovanyija dvuhetazsnovo drenazsa szlabovodopronyicaemoj poroznoj szredü, Práce Stavebni Fakulty Cvut. Prága

*Csaplár K.* (1989). Talajcsőrendszerek vízpótlásra való felhasználásának vizsgálata. *Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 8 (1) Agroinform, Budapest. ISSN 0238-8979, 40-46.

*Fehér F., Szalai Gy.* (1986). A meliorációs kutatás, tervezés és gyakorlat fejlesztésének időszerű feladatai mezőgazdasági területeken. *Hidrológiai Közöny*. 66. évf. 3. szám, pp. 128-132.

*Fehér F.* (1979). A síkvidéki, mezőgazdasági táblán belüli vízelvezető elemek fejlesztése. *Hidrológiai Közöny*. 59. évf. 11. szám, pp. 519-523.

*Filep Gy.* (1999). Az öntözővizek minősége és minősítése. *Agrokémia és Talajtan*. 48 (1-2). 49-63.

*Forgóné N. M.* (1996). A meliorációs beavatkozások hatása a talajok vízgazdálkodására és sóforgalmára. *Hidrológiai Közöny* 76 (2), 84-88.

*Hornyik B.* (1984): Többcélú talajcsővezetés a Tiszántúlon. *Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 3 (1) Agroinform, Budapest. ISSN 0231-410 X, 8-13.

*Katona Zs., Madarassy L., Szücs I.* (1989). Talajcsőhálózatok mértékadó vízhozamainak meghatározása. *Hidrológiai Közöny*. 69. évf. 1. szám, pp. 16-22.

*Lendvai Z., Avas K.* (1983). Tápanyagkilúgzás vizsgálata talajcsővezett területeken. *Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 2 (2) Agroinform, Budapest. ISBN 963502-253-0, 48-52.

*Madarassy L.* (1983). A talajcsőhálózatok tervezése. In: *Thyll Sz., Fehér F., Madarassy L.* (1983). Mezőgazdasági talajcsővezetés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 182-239.

*Mile S.* (1986). A dréneken keresztül történő vízviisszpótlás újabb tapasztalatai Békés megyében. *Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 5 (3) Agroinform, Budapest. ISSN 0231-410 X, 43-50.

*Molnár E.* (1987). A talajnedvesség szabályozási kutatások főbb irányai a nemzetközi talajtani társaság XIII. Kongresszusa tükrében. - A talajnedvesség szabályozásának lehetőségei drénezéssel a Magyar Alföldön. *Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 6 (1) Agroinform, Budapest. ISSN 0231-410 X, 35-38.

*Nyiri L., Fehér F.* (1977). Tájékoztató a Karcagpusztai komplex meliorációs modellelepen folyó kutatómunkáról. Kézirat. DATE KI, Karcag.

*Pálfai I.* (2004). Belvizek és aszályok Magyarországon. *Hidrológiai tanulmányok*. Közlekedési Dokumentációs Kft. Budapest. + II. sz. melléklet

*Primás A., Regős F., Szalai S., Wittmann M.* (1983). Magyarország talajcsővezett területeinek katasztere. A Magyar Hidrológiai Társaság IV. Országos Vándorgyűlése II. kötet, Melioráció. Győr, 1983. június 29-30.

*Sojak M., Ivarson K. C.* (1980). Iron and Manganese Oxide problems in tiledrains. Factsheet (Ontario. Ministry of Agriculture and Food) pp. 3.

*Szabó L.* (1972). A talajcsővek árkának szűrőzése. *Hidrológiai Közöny*. 52. évf. 7.szám, pp. 302-307.

*Sziki G.* (1985). A céldrének alkalmazhatósága és a megoldás módjai az üzemi komplex meliorációban. *Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 4 (2) Agroinform, Budapest. ISSN 0231-410 X, 9-12.

*Szinay M.* (1983a). Néhány európai ország talajcsővezési adatai és a hazai értékelés. *Hidrológiai Tájékoztató*. 23 (2), 16-17.

*Szinay M.* (1983b). Magyarország vízrendezett területeinek helyzete és fejlesztése. *Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 2 (3) Agroinform, Budapest. ISSN 0230-9203, 30-34.

*Túri N., Körösparti J., Kerecsi Gy., Bozán Cs.* (2018). Talajcsővezett területek azonosítása Békés megyében távérzékelt valós színes felvételek kiértékelése segítségével. In: *Jakab G. – Tóth A. – Csengeri E.* (Szerk.): Alkalmazkodó vízgazdálkodás: Lehetőségek és kockázatok. Absztraktkötet. Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar Tessedik Campus, Szarvas. 206-211.

*Varga J.* (1986). A hazánkban végzett melioráció történeti áttekintése. *Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 5 (melléklet) Agroinform, Budapest. ISSN 0231-410 X, 40-51.

Wittmann M., Szalai S., Regős F., Rupert T., Szalóki L., Primás A., Gróf M., Ughy Gy. (1981). Magyarország talajcsövezett területeinek katasztere. Vízgazdálkodási Intézet IV. Szakágazati Iroda, Vízrendezési és Mezőgazdasági Vízellátási Osztály. Budapest. 1-159.

Zsakarovszky Á. (1982). A talajcsövezett területek üzemeltetésének és hasznosításának néhány problémája Csongrád megyében. *Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás*. 1 (3) Agroinform, Budapest. ISBN 963502-212-3, 15-18.

## A SZERZŐ



**TÚRI NORBERT** tudományos segédmunkatárs a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Öntözési és Vízgazdálkodási Kutató Központban Szarvason. A mezőgazdasági vízgazdálkodási témacsoport olyan kutatásaiban vesz részt, mint: az egykor talajcsövezett területek terepi és térinformatikai vizsgálata, valamint a belvív-veszélyeztetettség térképezése mezőgazdasági területeken. Végzettségét tekintve táj- és környezetkutató geográfus (SZTE), jelenleg PhD tanulmányait folytatja a Szegedi Tudományegyetem Földtudományok Doktori Iskolájában, témája az egykor talajcsövezett területek belvív érzékenysége, valamint a belvizek előfordulásának összefüggés vizsgálata a Körösök-közén. 2018 decemberében végzett, mint mezőgazdasági vízgazdálkodási szakmérnök, a SZIE AGK Szarvasi Campus-án, ahol elkészített szakdolgozatával 2019-ben a Magyar Hidrológiai Társaság Lászlóffy Woldemár Diplomamunka Pályázatán I. helyezést ért el a szakirányú továbbképzés kategóriában.

## A Vajas folyó a történeti forrásokban

Pánya István

Kecskeméti Katona József Múzeum, (E-mail: panyaistvan@gmail.com)

### Kivonat

Közel tíz éve zajlik a Duna-Tisza közének történeti földrajzi vizsgálata. A kutatás célja a településhálózat felderítése mellett a történeti táj (erdők, mezők, tavak, folyók stb.) rekonstrukciója. Solt és Bodrog vármegyék kutatása során került a kutatás célkeresztjébe a Vajas folyó, mely a Duna kísérelőjeként mintegy 140 km hosszan kanyargott. A Vajas nevét a korai, Árpád-kori forrásokból ismerjük. A történeti és földrajzi adatok vizsgálatából kiderült, hogy a Vajas nem egyetlen folyó volt, hanem ezen a néven legalább négy, egymástól független folyó létezett a Duna mentén. A 18-19. századi kéziratos térképek alapján ezek elhelyezkedését, egykori medrét viszonylag jól lehet rekonstruálni. A Vajas legészakabbi szakasza Foktó és Sükösd között kanyarog a Kalocsai-Sárköz területén. Torkolatának közelében ágazott ki a Dunából az ún. Csanádi-Vajas, mely Bajától északnyugatra tért vissza a Dunába. A harmadik Vajas szakasz – mely azonos a Baracska-Dunával s lényegében a Duna főága volt a szabályozások előtt – Báta magasságában ágazott ki a Dunából és Bezdánnál egyesült a Dunával. A negyedik Vajas nyomvonala csupán részlegesen azonosítható. Monostorszegtől délnyugatra szakadt ki a Dunából és Apatin, majd Szonta érintésével Plavna mellett torkollott a Dunába.

### Kulcsszavak

Duna, Vajas, fokgazdálkodás, történeti földrajz, folyószabályozás.

## The Vajas River in historical sources

### Abstract

The historical-geographical study of the Danube-Tisza area has been going on for almost ten years. In addition to exploring the settlement network, the aim of the research is to reconstruct the historical landscape (forests, fields, lakes, rivers, etc.). During the research of Solt and Bodrog Counties, the Vajas River has come into focus, which meandered next to the Danube River for about 140 km.

The name of the River Vajas is one of the ancient appellations on the Great Plain. Its name is known from early Árpadian written sources. Examination of the historical and geographical data revealed that the Vajas was not a single river, but that there were at least four independent rivers with this name along the Danube. Based on the 18-19<sup>th</sup> century manuscript maps, their location and former riverbed can be reconstructed relatively well.

The northernmost section of Vajas runs between Foktó and Sükösd in the Kalocsai-Sárköz area. Near its mouth branched out the so-called Csanádi-Vajas from the Danube, which returned to the Danube northwest of Baja. The third Vajas section - which is identical to the Baracska-Danube and was essentially the main branch of the Danube before the regulations - branched out from the Danube at the height of Báta and merged with the Danube at Bezdán. The route of the fourth Vajas is only partially identifiable. It branched out of the Danube southwest of Monostorszeg, then returned to the Danube near Plavna by touching Apatin and Szonta.

### Keywords

Danube, Vajas, river management, historical geography, river regulation works.

### BEVEZETÉS

A Vajas folyó nevének eredete a régmúltba, az Árpád-korba nyúlik vissza. Egyik legkorábbi említése III. Béla király névtelen jegyzőjének a 13. század elején keletkezett művében, a *Gesta Hungarorum*, azaz *A magyarok viselt dolgai* c. művében olvasható. Eszerint miután honfoglaló őseink a Duna-Tisza közét elfoglalták, „Árpád vezér meg nemesei innen előnyomulva egészen Titelig mentek, s odáig meghódították a népet. Majd tovább indulva, a Szalánkemén-révhez jutottak, s a Tisza-Duna aljában lakó egész népet igájuk alá hajtották. Innen pedig a bodrogi részekre tértek, és a Vajas vize mellett ütöttek tábornot. Azokon a részekben a vezér nagy földet adott lakosaival együtt Tasnak, Lél apjának és nagybátyjának, Kölpénynek, Botond apjának” (Pais 1977, Györffy 1970). Anonymus történetét fenntartásokkal kell kezelnünk, hiszen a történeti kutatások alapján bizonyos, hogy a szerző számos – valószínűleg kitalált – elemet is beemelt, beleszólt gesztájába. Az általa említett Vajas azonban valós természeti képződmény, hiszen lentebb látni fogjuk, hogy jóval korábbi, a 11. századból is maradt fenn hiteles forrás, melyben szerepel a Bodrog vármegyében található folyó. Az egyes szám jelen esetben hibás, ugyanis a Vajas nem egyetlen folyó neve volt.

A Duna mentén Foktó és Plavna (középkorban Palona) közötti mintegy 140 km hosszúságú területen legalább négy Vajas nevű vízfolyást lehet a történeti források alapján elkülöníteni. Tanulmányomban elsőként a Vajasokkal kapcsolatos legfontosabb szakirodalmakra térek ki, ezt követően röviden összefoglalom az írott és térképi források alapján meghatározható folyószakaszokat.

### SZAKIRODALOM ÉS ADATTÁRI FORRÁSOK

A Duna és környezetének földrajzi, történeti és régészeti szakirodalma igen gazdagnak mondható (Pécsi 1959, Ihrig 1973, Marosi–Szilárd 1967, Marosi–Somogyi 1990). Kifejezetten a Vajasról, helyesebben az említett öt Vajas szakaszról azonban jelen ismereteink szerint nem készült összefoglaló tanulmány. Azonban bőséggel akadnak olyan tudományos közlemények, közreadott adattárak, illetve kiadatlan (írott és térképi) források, melyekből vázlatos képet alkothatunk a Vajasok elhelyezkedéséről és történetéről. Ezek közül kiemelkednek a 18-19. századi kéziratos térképek, melyeken a szabályozások előtti vízfolyásokat ábrázolják (*MNL OL S12 D11. No28:1-2.*). Ide kapcsolódik a közelmúltban DVD-n megjelent Duna Mappáció

(DM, MNL OL S81 1554/376.). Sajnos a kiadvány térkép-  
anyaga erősen hiányos, a szelvények jelentős része  
ugyanis az elmúlt másfél évszázadban tönkrement. Szeren-  
csére a hiányzó szelvényeket az eredetiekből készült, na-  
gyobb területeket ábrázoló térképek alapján pótolni lehet  
(MNL PML Pmt018, HM HIM BIXb 122/2 és BIXb 134). A  
Duna Mappáció szelvényeihez készült leírások is igen nagy  
mennyiségű – vízügyi és szabályozási szempontból különö-  
sen érdekes – adatot tartalmaznak (DM, illetve a leírásokat  
lásd MNL OL S81 Vizrajzi Intézet, iratok 1/b.).

Győrffy György Bodrog vármegye vizsgálata során  
megállapította, hogy a Vajas tulajdonképpen a Duna mel-  
lékága volt, mely a Dunával egy Kalocsától Bácsig terjedő,

szigetszerű szárazulatot fogott közre, a mai Mohácsi-szi-  
get ősét (Győrffy 1963, Győrffy 1970). Könyvéhez mellé-  
kelt térképen nagyvonalakban fel is vázolta a Dunát kelet-  
ről kísérő folyót (1. ábra).

Győrffy történeti földrajzi adattárának megjelenése óta  
számtalan helyen vették át (többnyire érdemi kritika nél-  
kül) a Vajásról szóló elképzelést. Győrffy elmélete azon-  
ban számos ponton kiegészíthető, illetve pontosítható. Kö-  
szönhetően a digitálisan elérhető kéziratos térképeknek, il-  
letve az írásos forrásoknak, egyértelműen látszik, hogy  
Vajásból több is létezett a Duna mentén s ezek – a törté-  
nész véleményével szemben – nem alkottak egyetlen víz-  
folyást (2. ábra).



1. ábra. A Vajas folyó Győrffy György térképén (Győrffy 1963)  
Figure 1. The River Vajas on the map of György Győrffy  
(Győrffy 1963)



2. ábra. A Vajas azonosított szakaszai  
Figure 2. The identified sections of the River Vajas



A Vajasok és a hozzájuk kapcsolódó mesterséges és természetes medrek a fokgazdálkodás (azon belül is leginkább a halászat) fontos színterei voltak. A középkori oklevelekben számtalan helyen fordulnak elő a hatalmaskodások, melyek leírásában a halászzattal, a halásztanyákkal, rekesztékekkel stb. találkozhatunk. A 16. századi török adóösszeírásokban is több településnél olvashatunk a Vajas halászatáról (Káldy-Nagy 2008). A török hódoltság utáni halászatról Solymos Edének és S. Göldner Mártának a Kalocsai Érseki Uradalom halászati szerződéseit érintő kutatásaiból értesülünk (Solymos és Göldner 1978). Akadnak helytörténeti szinten is értékes munkák, melyeken keresztül egy-egy kisebb település környezetébe, s az ott található Vajas szakasz viszonyaiba kapunk bepillantást (Gallina 2016, Romsics 2016). Dusnok történeti földrajzát D. Szabó Kálmán helytörténész írta meg, s ebben számos helyen említi a Vajast és a hozzá kapcsolódó magyar és délszláv határneveket (D. Szabó 1992). Szeremle környékének középkori okleveleit teljes szövegű magyar fordításban Kapocs Nándor szeremlei lelkész, illetve Kőhegyi Mihály bajai régész adta közre (Kapocs–Kőhegyi 1980). Szintén történeti forrásokon alapulnak Kiss Andrea kutatásai, melyekből a Duna Solt megyei és Bodrog megyei szakaszairól, illetve a kapcsolódó Vajas szakaszokról kapunk értékes árvízi adatokat (Kiss 2012).

A Vajast számos alkalommal Vajas-fokként említik. Itt fontos kiemelni, hogy történeti-néprajzi és földrajzi szempontból a fok elnevezés jelentéstartalma lényegesen különbözik. A problémakörrel Andrásfalvy Bertalan és Deák Antal András foglalkozott közleményeiben (Andrásfalvy 2002, Deák 2002a, Deák 2002b, Deák 2002c).

Végezetül, különösen érdekes kérdés a Vajas nevének eredete, melyet a 18. századtól a jelenkorig számos szerző vizsgált (Ihrig 1973, Andrásfalvy 1973, Andrásfalvy 1975). Bél Mátyás szerint a Vajas elnevezés a vájás igéből ered (Mindszenty 1831, Mindszenty 2020). E két kifejezés rokonságát jelezheti számos kéziratos térképen, különféle vizek mentén előforduló Vajas/Vájás(a) helynév. Ilyen például a Dráva mentén, Zala vármegyében, Légrád mellett létezett Vájás nevű, illetve a Békés megyében, Békés mezővárostól északra létezett Takács vájása nevű fok (MNL OL S12 D13 No213., S12 D14 No3., MNL BéML XV 1a207). Andrásfalvy Bertalan felhívta a figyelmet arra, hogy a Duna mentén a mesterséges vízvezető csatornákat, népies nevükön a fokokat hagyományosan „vájták”, így valóban lehet kapcsolat az ige és a folyó neve között (Andrásfalvy 1989, Andrásfalvy 2002).

## A VAJAS SZAKASZAI

### Vajas 1. (Sárközi I. főcsatorna)

Az 1520-1521 fkm között, Foktónél eredt a Dunából (MNL OL S12 D14 no38). Bél Mátyás másképp vélekedett, szerinte az ettől északabbra található Lak (mai Géderlak nyugati határában létezett), (Duna)Szentbenedek, Uszód, illetve délebbre fekvő Fajs is a Vajas mellett feküdt (Bél 1982). Itt a híres földrajztudós minden bizonnyal téved, hiszen a felsorolt településeknek – helytörténeti és földrajzi adatokkal bizonyíthatóan – nincs közük a folyóhoz.

A Vajas Foktól Kalocsa felé, keleti irányba folyt, majd az érseki városnál délnek fordult és kanyarogva haladt Bártya-Miske-Dusnok felé (Bárth 1999). Utóbbtól nyugatra, az ún. Vajastoroknál, az 1494-1495 fkm között ömlött a Dunába, az egykori Csepces faluhelye mellett (Asbóth 1999, Asbóth 2004, Mindszenty 1831, MNL PML XV. 6. (PMT) 8, MNL OL S101 No400, MNL OL S12 D13 No646.). Az újkori írott forrásokban és térképeken a Dusnok alatti szakaszt Fekete Vajasnak nevezték (Solymos–Göldner 1978, D. Szabó 1992). A 18. század elején számontartották még az ún. Kis-Vajast, mely Fajs keleti határát képezte Dusnok és pusztái irányába (Borosy–Szabó 2000). A 19. századi térképek alapján a Vajas Sárközi szakaszának hossza mintegy 50 kilométer volt. Csepcesnél a Duna oldalazó eróziója miatt a torkolati szakaszának egyes részeit (illetve az említett Csepces faluhelyét) elnyelték a folyó hullámai a 18-19. század fordulóján (Mindszenty 1831).

A Vajas ezen szakaszáról számos kora újkori és újkori történeti forrás, illetve néphagyomány maradt fenn (1447: DL 106509, 1502: HO V. 394., DL 107288). Marsigli feljegyezte, hogy Kalocsa „Mezőváros, érsekségéről híres, a Duna túlsó partján, de nem annyira maga a folyó, mint inkább egy belőle légző, a Sarkes [Sárközi] szigetét alkotó valamiféle csatorna határolja” (Deák 2004). A Katona István a kalocsai érsekség történetéről szóló munkájában említette, hogy egykor hajózták a Vajas legészakibb szakaszát: „...valamikor jobban ki volt tisztítva, megbírta a hajókat, így nagy látogatottságot és forgalmat szerzett Kalocsának, a kereskedésre való alkalmassága és az itt kikötő hajók biztonsága miatt” (Katona 2001). Mindszenty Antal alföldi útján feljegyezte, hogy „A Török járás előtt Kalocsa városának nagy virágzására volt ez a folyó, mert akkor apró hajók jártak rajta a város alá, melyek annak kereskedését nagyon felemelték, meglehet, hogy akkor mesterséggel volt hajókázhatóvá téve, a minthogy Várdai Péter a ki 1481–1501-ig volt Kalocsai Érsek, az érsekség megyéjében folyó más vizet [a Mosztongát] is hajókázhatóvá tett. A sok áradásbéli kiöntéseivel most mar annyira előntötte a Duna iszappal, hogy apró hajókat sem bír el, azonban áradásokkal néha oly nagy, hogy a legnagyobb terhes hajók is eljárhatnának rajta” (Mindszenty 1831). Lehetséges, hogy a kalocsai érsek a Mosztongához hasonlóan a Vajas felső, Dunáig tartó szakaszát is rendbe hozta, s hajózásra, illetve szükség esetén a hajók vontatására is alkalmassá tette.

A török korban halbősége miatt továbbra is fontos halászhely maradt. Az 1578-as török adójegyzékben Irmak-su néven említették (D. Szabó 1992). 1570-ben a kalocsaiak a Vajas halastó halászatáért 150 akcsét fizettek (D. Szabó 1992). A mai Dusnok belterület helyén létezett Dobokánál a Vajas halastó után igen jelentős, 4100 akcsényi adót fizettek (D. Szabó 1992). Torkolatánál, Csepcesnél a török defterben „halbő helyként” említették s az ottaniak 50 akcse adót fizettek utána (Káldy-Nagy 2008). A török összeírásokból kiderül, hogy halászták még a miskeiek, honföldiek, karaszaiak, dalocsaiak is (Káldy-Nagy 2008). Később, a török kiűzése után, a 18. században is fontos halászhely maradt (Bárth 1969, Borosy–Kiss 2004).

Az újkorban a Vajas egyes ágait különféle neveken illették. Dusnokon számon tartották az Izsáki-Vajast, a Borsosháti-Vajast, a Buzsáki Vajast, illetve a Homoródi-Vajast (D. Szabó 1992).

### Vajas 2.

A mai Gemenci erdőben, 1491-1492 fkm közötti térségben, az ún. Fekete-erdő környékén eredt a Kerülő-fok és a Duna találkozásánál (3. ábra). A kezdeti szakasza a

18-19. század fordulójára feliszapolódott és nehezen lehetett kivenni. Erről tudósít egy 19. század elején keletkezett forrás: „Csanádi Vajasnak Torkolatja valaha Kerülőből eredt, de már végképpen be vagy iszapoltva, úgy hogy már a' helyét sem lehetni, mindazonáltal vizét kapja Kurta fokból a' melly Besnyei Kertek mellett Keletről folyik” (Kothencz 2012, MNL OL S81 Vízrajzi Intézet - iratok, 1469. sz. §306. rek.).



3. ábra. A Vajas 1. és 2. szakaszának nyomvonala  
Figure 3. The run of the River Vajas 1 and 2

A Csanádi Vajas az egykori Kákony falunál, az 1484 fkm környékén ömlött a Dunába (MNL OL S12 D13 No448:03, S12 D13 No371). Kákonynál a Vajásból kiágazó, dél felé tartó vízfolyást egyes térképeken Vajasként, többnyire azonban Csikos-tó néven jelölték (MNL OL S12 DXIX No196:1, MNL OL S12 D13 No0163, KFL.VIII.2.a.

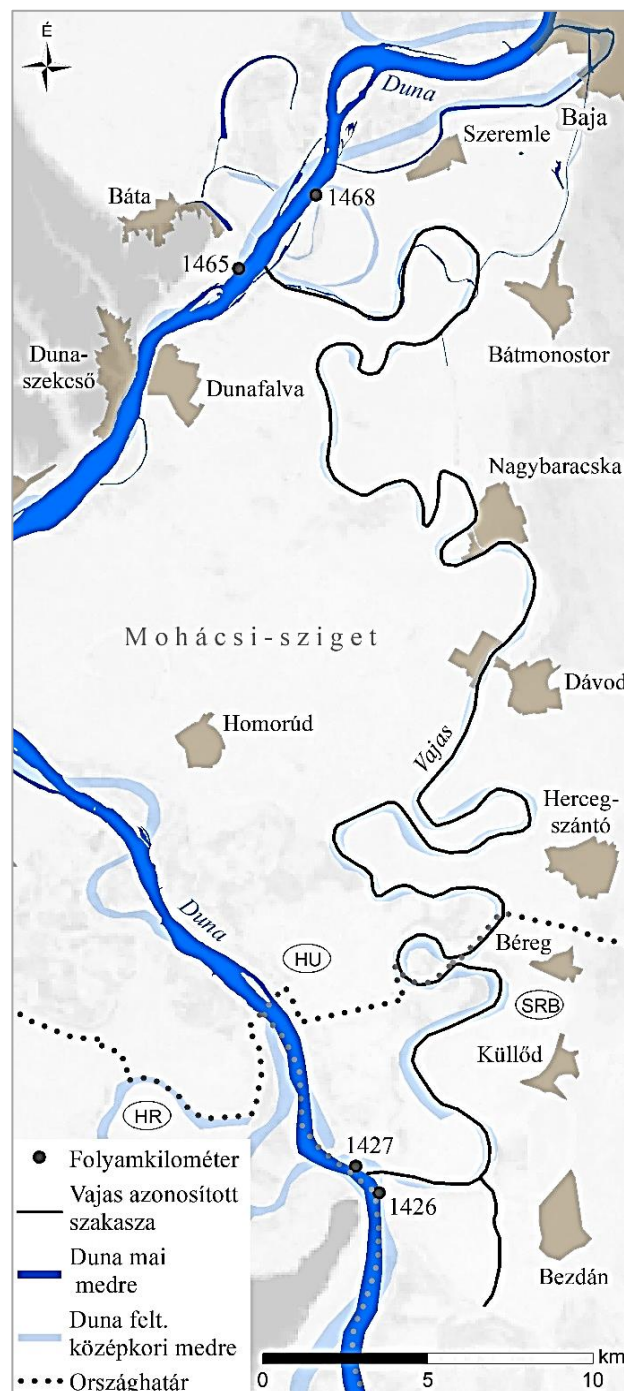
No.1345, illetve Kemény 2008, MNL OL S101 no857). Egykori torkolatát, illetve a partján elterülő Kákony falut a 19. század első felére a Duna elmosta. 1805-ben Patasich kalocsai érsek áttelepítette lakóit a mai Bajaszentistván területére (1805: Borovszky 1910). Emlékét a Vajas vadászház (Vajas J[agd] H[aus] a II. katonai felmérésen) őrízte meg.

Többféle néven megtaláljuk a forrásokban: a sükösdői szakaszt Kerülő-Vajasnak, a Csanád mellett kanyargó szakaszt Csanádi-, vagy Görbe Vajasnak nevezték (Solymos-Göldner 1978). Az 1578-as török defterben Irmak-su (folyóvíz) néven említették Csanád településnél (Halasi-Kun 1971). Bél Mátyás említette, hogy Csanád is ugyanazon Vajas mellett feküdt, mint a fentebb említett (Géder)Lak, (Duna)Szentbenedek, Uszód és Fajsz. Részben téved, hiszen itt valóban létezett Vajas szakasz, azonban ez nem azonos a Kalocsa környékén kanyargó Vajassal (Bél 1982).

### Vajas 3. (Baracscai-Duna)

A Vajas medrének futásvonalát a középkori források (elsősorban határleírások), illetve a 18-19. századi kéz-

iratos térképek alapján lehet felvázolni (Pánya és társai 2020, Kapocs-Kőhegyi 1980). Az oklevelek alapján Bata és Szeremlén mezőváros (ma Szeremle község) között, valahol az 1469 fkm-től mintegy 2-3 km-re nyugatra a Duna három felé ágazott. Két nyugati ága Bata felé/dél felé folyt, keleti ága Szeremlén déli határában nagyméretű kanyarulatokat formálva haladt Bátmonostora (mai Bátmonostor) mezőváros érintésével dél felé. Mintegy 81 kilométer megtétele után az 1426 fkm környékén egyesült a Szekcsői/Mohácsi-Dunával (4. ábra). Bezdántól délnyugatra jelölik a 19. századi térképek a Vajas-fokot, mely talán a régi Vajasnak a mederváltozások során levágódott szakasza lehet (MNL OL S11 No1547, MNL OL S11 No1593).



4. ábra. A Vajas 3. szakaszának nyomvonala  
Figure 4. The run of the River Vajas 3

A Mohácsi-szigetet keletről határoló Dunaág a középkorban Vajas (*Wayas, Voyos, Vayas, Sebesvayas*) néven volt ismert (1382: ZO IV. 231., 232.). Néhány esetben Vajas nevű Dunaként (*Danubio Vayas vocato*), vagy egyszerűen Dunaként/Sebesdunaként (*Danuby/Sebesduna*) említették. Holtágait a Vajas és a Duna után is elnevezték, az iratokból ismerünk Holtidunát (*Holthiduna, Finta férfinévvel képzett Fintaholtdunája*), Holtvajast (*Hothvayas, Mizse férfinévvel képzett Mizseholtvajassa*) (1366: ZO III. 318., 1373: ZO III. 492., 1405: ZO. V. 389.). Úgy tűnik, hogy a Dunát kísérő számos Vajassal szemben a Baracska-Dunaágat a korabeli lakosság egyértelműen a Duna részének tekintette. Szemben a tőle északra és délre található Vajasokkal, melyek általános elnevezése mindig is csupán Vajas volt.

A középkorban és a kora újkorban ez volt a folyó főága, melynek a néphagyományban is fennmarat az emléke (Brodarics 1983). A 19. század végén feljegyezték Szekcsőn, hogy „...két századdal előbb is a túlsó, úgynevezett Baracska-ág volt a Nagy Duna, az innenső pedig csak csekély ág úgyannyira, hogy a hagyományok szerint ezen ágon a víznek kisebb állása alkalmával, mint egy közönséges patakon, hágcsón, vagy beledobott lőfej csonton keresztül lehetett járni” (Andrásfalvy 1975, Gosztonyi 1891). Hajózták, gabonaörlő malmokat működtettek rajta, illetve a 16. század elejétől posztókészítő kallómalom (tájnevéen küllü) is üzemelt rajta (1348: ZO II. 298., 319., 377., DL 76901, 1391: ZO IV. 471., 1405: ZO. V. 389., DL 82376 és DL 82377).

Medre a 19. századi szabályozások miatt jelentősen megváltozott. Az első beavatkozás Bátánál történt, ahol a Duna oldalazó eróziója fokozatosan alámosta a bátai belterület melletti partszakaszt. A település védelme érdekében a Duna itteni kanyarulatát átvágták, illetve műtárgyakat (sarkantyúkat) építettek annak érdekében, hogy a keleti ág vize a vezérárokba folyjék. Ezt követően a nyugati (Mohácsi/Szekcsői-ág) szélesedett, a keleti pedig beszűkült, vízhozama erőteljesen lecsökkent (Konkoly 2012, Konkoly 2015).

Ezt követően a Baja-Bezdán közötti Ferenc-tápcsatorna (szerbül Bajski-kanal, azaz Bajai csatorna) építésekor történtek munkálatok (Faludi 1997, Csóka 2011). Ennek során a középkori Vajas medrének jelentős részét felhasználva készült el a 44,6 km hosszúságú csatorna. Nyomvonala Baja alatt a középkori Sár folyó (*fluvium Saar*), később az újkorban Szurdokvíz) medrét követi, majd a mai Bátmonostornál éri el a Vajast. A csatorna kialakításakor Bátmonostortól délnyugatra, illetve Hercegszántótól nyugatra történtek kanyarulat átmetszések, a többi szakaszon lényegében a Vajas medrét használták fel (Lóczy és társai 2014).

#### Vajas 4.

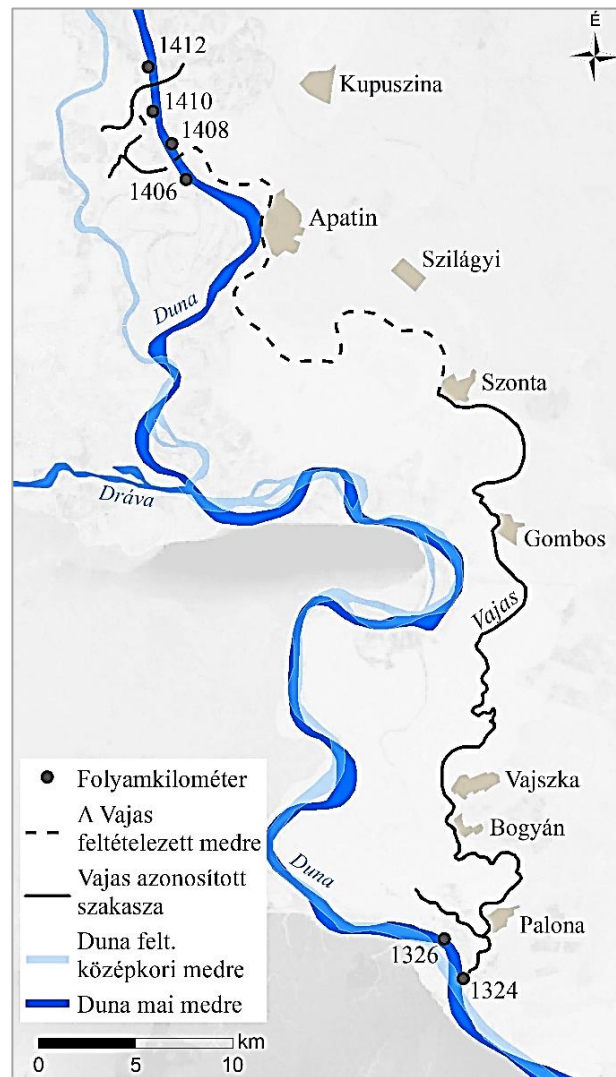
Vajas (*Woyas, Vayos, Voyos, Vajas, Vaish*) néven említették a történeti forrásokban (Györffy 1963). Kupuszinától nyugatra, 1411. és 1407. folyamkilométer

közötti térségben, a Duna nyugati oldalán ábrázolták a II. katonai felmérésen a mintegy 6 km hosszúságú Vajas fokot, mely a Csorna nevű holtágba csatlakozott. E Csorna valószínűleg azonos a Papi és Hetes falvak határjárása során említett Churnahorda ~ Csornahorda nevű vízfolyással (1338: AO III. 482., AO XXII. 264., 321., Györffy 1963). Tőle délre kanyargott egy másik, szintén Vajas nevű vízfolyás (mai térképeken Vajs kanal), melynek hossza megközelítőleg 4 km volt. Ettől mintegy 17 kilométerre délkeleti irányban, Szontánál (középkori Szond) jelölik 18-19. századi térképeken a Vajas folyót, mely mintegy 46 km után Palonánál (mai Plavna) érte el a Dunát (*KFL.VIII.2.a. No.149.*). E két szakasz között nem ismerjük a Vajas pontos medrét, azonban az írásos források szolgálnak néhány fontos támponttal. Legkorábbi említése a 11. századból származik. I. László király 1093-ban kelt iratában Vajas állóvizet (*stagnum Woyas*) olvashatunk Besenyőnél, Apáti elődjénél (*ÁÚO VI. 69.*). Ugyancsak állóvízként említették (*stagnum Vayos*) 1192-ben és 1231-ben Aposnál (mai Apatintól délre), illetve 1211-ben Aranyánnál (mai Apatintól északra) (Györffy 1963, 1231: *ÁÚO XI. 222-224.*). 1206-ban Szond határleírásánál feljegyezték a „*Voyos folyót, mely egészen Zund [Szond] falu alatt folyik el*” (*fluvium Voyos, qui dirivatur usque sub villam Zund*) (1206: *HO VII. 2., lásd még 1173-1196: ÁÚO XI. 61-62., 222-224. és 1425: DF 262045.*) A 16. századi török adójegyzékekben Fonónál (Szondtól délre) Irmag-i Tuna (Duna folyó) néven találjuk meg (*Halasi-Kun 1971*). A történeti források és a kéziratos térképek alapján Kupuszina és Szonta közötti szakasza mintegy 31 km hosszúságú lehetett (5. ábra).

Bodrog és Bács vármegye magyar lakossága eltűnt a 16. század első harmadára és helyükbe, több hullámban balkáni népelemek (délszlávok és vlachok) költöztek (Pánya 2019, Stepanovic 2020). A török adójegyzékekben azonban nem csak a magyar településnevek egy része maradt fenn, bizonyos mértékű torzulással, hanem a vízfolyások és halastavak is (Pánya 2019, *KFL.VIII.2.a. No.149.*). 1570-ben feljegyezték Budinofcse (Bogyán) és Nagyplavna (középkori Palona, ma Plavna) mellett a Vajas halastavat (*Káldy-Nagy 2008*). A Vajas elnevezés megmaradt a török hódoltság idején, illetve átvészelte a felszabadító háborúk újabb népmozgásait is (*OSZK TK 1158*). A 19. században közepén vegyes, német, magyar és délszláv lakosságú vidéken is több helyen használták a Vajas elnevezést: 1864-ben Karavukován Vajas (Vájas), Plavna mellett Vaish, Bogyánnál Vais (*Papp-Rajslí 2006, MRT 586., 593-595.*). Vajszkáról pedig feljegyezték, hogy nevét „*egy Vais nevű halászati víztől vette*” (*Papp-Rajslí 2006*).

A 19. századi állapotokhoz képest a Duna medre jelentős mértékben megváltozott. A kanyargós folyó ezen a szakaszon észak-déli irányú lett és keletre tolódott. Ennek következtében a Vajas 4. egy részét elmosta a Duna. A népesség kicserélődése és a Duna mederváltozásai együttesen eredményezhették azt, hogy a korábban összefüggő, mintegy 82 km hosszúságú Vajas egyes részei eltűntek, más részei a beköltöző szláv lakosságtól új nevet kaptak (Apatintól nyugatra Dunavac, Szilágyitól nyugatra Kruskovac).





5. ábra. A Vajás 4. szakaszának rekonstruált nyomvonala  
Figure 5. The reconstructed run of the River Vajás 4

## ÖSSZEFOGLALÁS

A főntebiekben a Vajás folyó források alapján által elkülöníthető szakaszait ismerhettük meg. A történeti adatok alapján azonban biztosra vehetjük, hogy a késő középkori, illetve az azt megelőző Árpád-kori időszakban a medrük különböző mértékben eltérhetett a térképeken jelöltektől. Valószínű, hogy a Vajás 1. torkolati szakasza a Duna mederváltozásai miatt tolódott el kelet felé. Eredeti torkolata a maitól nyugatabbra helyezkedhetett el. A Vajás 2. ennek közelében eredhetett s ezért akár az is feltételezhető, hogy az 1. és a 2. szakasz között a torkolat környékén kapcsolat lehetett. A Vajás 3. a Vajás 2-től kb. 10-11 kilométerrel délebbre, Bába környékén szakadt ki a Dunából. A középkori forrásokból tudjuk, hogy Bajától délre, Szeremlén mezőváros (mai Szeremle elődje) keleti határán a Sár folyó kanyargott, így a Vajás 2. és a Vajás 3. között nem lehetett kapcsolat. Emellett a középkori és az újkori forrásokból kiderül, hogy a Vajás 3. a Duna főága volt, tehát a többi, keskeny mellékágnál nagyságrendekkel nagyobb és jelentősebb volt. Ezt igazolja az is, hogy hajómalmokat, posztómalmokat járattak rajta, illetve nagyobb testű hajók is használhatták. A Vajás 4-nek jelenleg két szakaszát (a rövidebbet Kupuszinától nyugatra, a hosszabbat Szonta és

Plavna között) ismerjük. A kettő közötti szakaszokon a Vajás név feledésbe merült, helyettük különböző délszláv elnevezéseket találunk.

## Rövidítések jegyzéke

DL-DF – Magyar Nemzeti Levéltár Diplomatikai Levéltára és Diplomatikai Fényképtára  
HM HIM – HM Hadtörténeti Intézet és Múzeum Hadtörténeti Térképtára  
KFL – Kalocsai Főegyházmegyei Levéltár, Kalocsa  
MNL BÉML – Magyar Nemzeti Levéltár Békés Megyei Levéltára  
MNL OL – Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára  
MNL PML – Magyar Nemzeti Levéltár Pest Megyei Levéltára  
OSZK – Országos Széchényi Könyvtár, Budapest

## IRODALOMJEGYZÉK

Andrásfalvy B. (1973). A Sárköz és a környező Duna menti területek ősi ártéri gazdálkodása és vízhasználatai a szabályozás előtt, Vízügyi Történeti Füzetek 6. 1-75.

Andrásfalvy B. (1975). Duna mente népének ártéri gazdálkodása Tolna és Baranya megyében az ármentesítés befejezéséig, Szekszárd.

- Andrásfalvy B.* (1989). Die traditionelle Bewirtschaftung der Überschwemmungsgebiete Ungarns, *Acta Ethnographica* 35. 1-2. 39-88.
- Andrásfalvy B.* (2002). A fokok szerepe az ártér használatában, Adatok a fokok készítéséről. *Hidrológiai Közlöny*, 82. évf. 1. szám. pp. 55-57.
- AO III. - Nagy I.* (1883). Anjoukori okmánytár. *Codex diplomaticus Hungaricus Andegavensis. III. (1333–1339)*, Budapest
- AO XXII. – Piti F.* (szerk.) (2012). Anjou-kori Oklevéltár. XXII. 1338., Budapest-Szeged
- Asbóth M.* (1999). Kalocsa és Kalocsa környéki hidak In: Tóth E. (szerk.): *Hidak Bács-Kiskun megyében, Kalocsa* 29-34.
- Asbóth M.* (2004). Kalocsa településszerkezetének kialakulása és a kalocsai városrészek, közterületek nevének változásai In: Iványosi-Szabó T. (szerk.): *Bács-Kiskun megye múltjából* 19. Kecskemét 363-464.
- ÁÚO VI. - Wenzel G.* (1867). Árpád-kori új okmánytár. *Codex diplomaticus Arpadianus continuatus. VI.* 890–1235., Pest.
- ÁÚO XI. - Wenzel G.* (1873). Árpád-kori új okmánytár. *Codex diplomaticus Arpadianus continuatus. XI.* 890–1235., Pest.
- Bárth J.* (1969). A Kalocsa környéki árendás halászat néhány történeti emléke In: Takács L. (szerk.): *Néprajzi Közlemények* 14. évfolyam, 3-4. Budapest 7-72.
- Bárth J.* (1999). Hidak, töltések, révek In: Tóth E. (szerk.): *Hidak Bács-Kiskun megyében, Kalocsa* 17-28.
- Bél M.* (1982). Pest-Pilis-Solt vármegye. *Forrásközlés*. In: Iványosi-Szabó T. (szerk.): *Bács-Kiskun megye múltjából* 6. - Helytörténeti források és szemelvények a XVIII-XIX. századból, Budapest 11-69.
- Borosy A., Szabó A.* (2000). Pest-Pilis-Solt vármegye közgyűlési iratainak regesztái. *Igazságszolgáltatási iratok III. 1721-1740, Pest Megyei Levéltári Füzetek* 32., Budapest.
- Borosy A., Kiss A.* (2004). Pest-Pilis-Solt vármegye közgyűlési iratainak regesztái. *Közigazgatási és politikai iratok IV. 1731-1740, Pest Megyei Levéltári Füzetek* 36., Budapest.
- Borovszky S.* (1910). *Pest-Pilis-Solt-Kiskun vármegye 1., Magyarország vármegyéi és városai*, Budapest.
- Brodarics I.* (1983). Igaz leírás a magyaroknak a törökkel Mohácsnál vívott csatájáról. [Ford. Kardos Tibor.], Budapest.
- Csóka Z.* (2011). A Baja-Bezdáni csatorna rekonstrukciós tervezése In: *A Magyar Hidrológiai Társaság XXIX. Országos Vándorgyűlése. Eger, 2011. július 6-8., 10. szekció: Vízépítés*, pp. 1-8.
- Deák A. A.* (2002a). Válasz Andrásfalvy Bertalan „Adatok a fokok készítéséről” gondolatára, *Hidrológiai Közlöny*. 82. évf. 1. szám. pp. 57-59.
- Deák A. A.* (2002b). Fok vagy csatorna? *Hidrológiai Közlöny*, 82. évf. 4. szám. pp. 241-242.
- Deák A. A.* (2002c). A "fok" metamorfózisa. *Hidrológiai Közlöny*, 82. évf. 6. szám. pp. 368-369.
- Deák A. A.* (2004). *A Duna fölfedezése*, Budapest.
- DM - A Duna-mappáció* (DVD-ROM) (2006). *A Duna folyó magyarországi szakaszának térképei (1819-1833) az osztrák határtól Péterváradig*. Pécs.
- Faludi G.* (1997). A 120 éves Baja-Bezdán-i tápcsatorna – *Hidrológiai Közlöny*, 77. évf. 3-4. szám. pp. 153-156.
- Gallina Zs.* (2016). A Kalocsai Sárköz természeti és történeti földrajza In: Gallina Zs.–Varga S. (szerk.): *A Duna-Tisza közének honfoglalás és kora Árpád-kori temetői, sír- és kincsleletei I. – a kalocsai Sárköz a 10-11. században*, Szegedi Tudományegyetem-MTA BTK RI-MNM, Szeged-Budapest
- Gosztonyi Gy.* (1891). *Duna-Szekcső a múltban és jelenben*, Pécs.
- Györffy Gy.* (1963). *Az Árpád-kori Magyarország történeti földrajza I.*, Budapest.
- Györffy Gy.* (1970). A honfoglaló magyarok települési rendjéről. In: *Archaeologiai értesítő* 97. évf., 1970/2., Budapest, pp. 191-242.
- Halasi-Kun T.* (1971). Unidentified medieval settlements in Southern Hungary, Ottoman: nezd-i..., et socii. In: *Archivum Ottomanicum*, 1971/3., pp. 5-169.
- HO V. - Ipolyi A., Nagy I., Véghely D.* (1873). *Hazai okmánytár. Codex diplomaticus patrius V.*, Győr.
- HO VII. - Ipolyi A., Nagy I., Véghely D.* (1880). *Hazai okmánytár. Codex diplomaticus patrius VII.*, Budapest
- Ihrig D.* (1973). *A magyar vízszabályozás története, Országos Vízügyi Hivatal*, Budapest.
- Katona I.* (2001). *A kalocsai érseki egyház története I.*, Kalocsa.
- Kapocs N., Kőhegyi M.* (1980). Szeremle középkori oklevelei a Zichy okmánytárban, Baja.
- Káldy-Nagy Gy.* (2008). A szegedi szandzsák települései, lakosai és török birtokosai 1570-ben. In: *Dél-Alföldi évszázadok* 24. Szeged.
- Kemény J.* (2008). *Baja mezőváros szerepe az 1848–1849. évi szabadságharcban 2.*, Kecskemét.
- Kiss A.* (2012). *Dunai árvizek Magyarországon a középkori írott források tükrében: 1000-1500. Esettanulmányok, forráskritika és elemzési problémák (Danube floods in Hungary in medieval documentary evidence: 1000-1500. Case studies, source critics and analysis problems)*. In: Kiss és társai (szerk.); *Középkortörténeti tanulmányok 7 (Research in medieval studies 7)*, Szeged 339-355.
- Konkoly S.* (2012). Újabb adatok Zsembéc várának lokalizációjához, *Modern geográfia*, 2012/II., Budapest 1-21.
- Konkoly S.* (2015). Középkori vár vagy római erőd? Rejtélyes romok a Mohácsi-szigetről. In: Kovács Attila (szerk.): *Szakkollégiumi Füzetek 2. a Móra Ferenc Szakkollégium évkönyve*, Szeged. 93-117.

*Kothencz K.* (2012): Kovácsok kézjegye. In: Monumenta Muzeologica 4., Baja, p. 373.

*Lóczy D., Mátrai I., Fehér G., Váradi Zs.* (2014). Ecological Evaluation of the Baja-Bezdan Canal (Hungary–Serbia) for Reconstruction Planning, Water Resources Management 28(3) 815-831.

*Marosi S., Szilárd J.* (1967). A dunai Alföld, Magyarország tájféldrajza 1., Budapest.

*Marosi S., Somogyi S.* (1990). Magyarország kistájainak katasztere I-II., Budapest.

*Mindszenty A.* (1831). Egy fordulás az Alföldön, Tudományos gyűjtemény 15/IX-X., Buda 1-68. és 3-51.

*Mindszenty A.* (2020). Egy fordulás az Alföldön (szerk. Pánya I.), Kecskemét (várható megjelenés 2020 ősze)

*MRT* – Magyarországi rendeletek tára (1878). Budapest.

*Pais D.* (1977). Anonymus, Gesta Hungarorum, Budapest.

*Papp Gy., Rajsli I.* (2006). Bácskai helységek Pesty Frigyes 1864. évi kéziratos helynévtárában, Újvidék 240 p.

*Pánya I.* (2019). Possibilities and methods for the reconstruction of the settlement structure of medieval Bodrog county, Banatica 29, Resicabánya/Resita 331-358.

*Pánya I., Mordovin M., Nagy B.* (2020). Sic transit gloria mundi – Szeremlén mezőváros története. In:

Cumania 28, Kecskemét (várható megjelenés 2020 ősz).

*Pécsi M.* (1959). A magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszínalaktana, Budapest

*Romsics I.* (2016). A Kalocsai Sárköz települései a XI-XVII. században, Kalocsa

*Solymos E., S. Göldner M.* (1978). A kalocsai érsekségszemélyzet halászati szerződése 1725–1916. In: Cumania 5. Ethnographia, Kecskemét 43-96.

*Stepanovic, M.* (2020): U Tom Somboru ... Grad u prizmi stoleca, Sombor.

*D. Szabó K.* (1992). Dusnok történeti földrajza. In: Cumania 13., Kecskemét. pp. 165-242.

*ZO II.* (1872). A zichi és vásónkeői gróf Zichy-család idősb ágának okmánytára. Codex diplomaticus domus senioris comitum Zichy de Zich et Vasonkeo. II. Budapest.

*ZO III.* (1874). A zichi és vásónkeői gróf Zichy-család idősb ágának okmánytára. Codex diplomaticus domus senioris comitum Zichy de Zich et Vasonkeo. III., Budapest.

*ZO IV.* (1878). A zichi és vásónkeői gróf Zichy-család idősb ágának okmánytára. Codex diplomaticus domus senioris comitum Zichy de Zich et Vasonkeo. IV., Budapest.

*ZO V.* (1888). A zichi és vásónkeői gróf Zichy-család idősb ágának okmánytára. Codex diplomaticus domus senioris comitum Zichy de Zich et Vasonkeo. V., Budapest.

## A SZERZŐ



**PÁNYA ISTVÁN** az SZTE Földtudományok Doktori Iskola PhD hallgatója. 2009-ben földrajz Bsc, majd 2011-ben okleveles geográfus diplomát szerzett a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán. 2011-től a Kecskeméti Katona József Múzeum munkatársa. Kutatási területe a Duna-Tisza közeli középkori településhálózat, illetve a 10-18. századi táj rekonstrukciója.

# Nekrológ



Életének 78. évében elhunyt dr. Bíró Péter okleveles biológus (KLTE 1967), a biológiai tudomány doktora (1993), egyetemi tanár, az MTA rendes tagja (2008).

1962-től a Debreceni Egyetem jogelődjének tekinthető Kossuth Lajos Tudomány Egyetem Természettudományi Kar biológia-kémia szakán tanult, és 1967-ben az elsők között volt, aki hazánkban az akkor Woynárovich Elek vezette hidrobiológus képzés keretében kapott biológus–hidrobiológus oklevelet.

Végzése után, 1967-ben Tihanyba, az MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézetébe került, ahol 53 éven át dolgozott, a ranglétrát végigjárva, különböző beosztásokban. 1982-től 1991-ig a Kutatóintézet tudományos igazgatóhelyettese, egyben a hidrobiológiai osztály vezetője volt. 1993-ban kutatóprofesszori megbízást kapott. 1998 és 2001 között Széchenyi professzori ösztöndíjjal kutatott. 2004-től a 2012-ben történt nyugdíjba vonulásáig a Balatoni Limnológiai Kutatóintézet igazgatója volt.

Kutatóintézeti állása mellett 1976-ban a Mezőgazdasági és Élelmiszerügyi Minisztérium halállomány-fejlesztő programjának vezetője lett. A programot 1980-ig irányította.

Egyetemi doktori értekezését 1971-ben védte meg a Kossuth Lajos Tudomány Egyetemen; 1977-ben a biológiai tudományok kandidátusa, majd 1993-ban a biológiai tudományok doktora lett; 2000-ben habilitált. 2001-ben a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjai közé választották, majd 2008-tól az MTA rendes tagja lett. Az MTA Veszprémi Akadémiai Bizottságának elnöki tisztségét hat éven át töltötte be, ilyen minőségében az MTA elnökségének munkájában is részt vett.

Az MTA számos tudományos bizottságában és szervezetében végzett aktív, tudományos szervező munkát. Az MTA Biológiai Tudományok Osztályának két cikluson át osztályelnök-helyettese; több akadémiai testületnek aktív tagja volt (Ökológiai Bizottság, Evolúciobiológiai Bizottság, Hidrobiológiai Bizottság, melyet éveken át annak elnökeként vezetett). 1994–2000 között az MTA Közgyűlésének doktori képviselőjeként tevékenykedett. Tagja volt az MTA Doktori Tanácsának is.

## Dr. Bíró Péter

Újfehértó, 1943. május 8. – Veszprém, 2021. március 25.

Több egyetemen (Szent István Egyetem, Pannon Egyetem) végzett oktató munkát. 2001-től a Debreceni Tudományegyetem habilitált címzetes egyetemi tanára, majd professor emeritusa volt.

Bármerre is vitt az útja, az alma materével mindig szoros kapcsolatot tartott. A Debreceni Egyetem TTK Habilitációs Bizottsága és a Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola tagjaként sok doktorandusz tudományos előmenetelét segítette, volt témavezetője. Támogatta a Hidrobiológiai Tanszék alapítását és a hazai hidrobiológus képzés debreceni folytatását. A képzésben aktív szerepet is vállalt, részben a halbiológia témakörében született jegyzetei és könyvei rendelkezésre bocsátásával, részben pedig a halbiológia és a halpopulációk dinamikája című kurzusok rendszeres oktatásával.

Szakmai-társadalmi tevékenysége szerteágazó, több hazai és nemzetközi tudományos testület vezetőségi tagja volt: Societas Internationalis Limnologiae (SIL); (Journal of Aquatic Ecosystem Health and Management (Elsevier), International Network for DIVERSITAS in Western Pacific & Asia (DIWPA), az IUBS (Nemzetközi Biológiai Unió) Magyar Nemzeti Bizottság elnöke, a VEAB alelnöke, a BIODIVERSITAS Magyar Nemzeti Bizottság alelnöke, a SCOPE Magyar Nemzeti Bizottság tagja. Fontosnak tartotta szakterülete nemzetközi kapcsolatainak ápolását, több nemzetközi ichtiológiai testületnek volt tisztségviselője, a FAO, UNESCO, IUBS, ICSU testületeinek pedig választott tagja. Akadémiai kötelezettségei mellett a nemzetközi tudományos életben is jelentős szerepet vállalt, az Európai Ichthyológus Unió (SEI) titkáraként, majd pedig tiszteleti tagjaként.

Tagja volt az Aquatic Ecosystem Health and Management Society és az Electronic Journal of Ichthyology című tudományos szakfolyóiratok szerkesztőbizottságának.

Vezető szervezője és elnöke volt a Budapesten 2013 augusztusában megrendezett 32. SIL (International Society of Limnology) kongresszusnak, ami nagy nemzetközi visszhangot váltott ki. Felkarolta a Tisza és a tiszai Alföld területén végzendő ökológiai kutatások intézményesítésének ötletét is, és vezető szerepet töltött be az MTA Tiszakutató-osztálya létrehívásában.

A balatoni limnológiai kutatás egyik nemzetközileg elismert kutatója, kutatási programok vezetője, irányítója volt. Fő kutatási területe az ichtiológia, a táplálék- és táplálkozásbiológia, a populációdinamika, a halökológia, valamint a halállományok kezelése volt. A kezdetektől felfelé ívelő pályáján kutatásainak nagyobb része a Balaton halállományával függött össze. E téren külön is említésre méltó az értékes fogassüllőről készített monografikus feldolgoása. Nemzetközi viszonylatban is kiemelkedők a táplálék hálózatok és az ezek mentén megnyilvánuló energiaáramlások elemzése. A Balaton halállományának populációdinamikáját, táplálkozási kapcsolatait, a balatoni élőlénytársulások hosszú távú változásait vizsgálta.



Nevéhez fűződik a fogassüllőnek, a Balaton csúcsragadozó halfajának, valamint a tó fontosabb halfajainak állománydinamikai vizsgálata és a tó élővilágában játszott biológiai jellegű szerepük feltárása. Több munkájában elemzte a Balatonban élő szervezetek táplálkozási kapcsolatát. Jelentős eredménye volt továbbá a Balaton életkörülményeiben és halfaunájában lezajlott hosszú idejű változások leírása. A halállomány kezelése témakörében foglalkozott annak kihasználásával. Foglalkozott az eutrofizációval és más környezeti változásokkal a tó halfajaira gyakorolt hatásával, valamint a kísérletes állatlet-tan és a biodiverzitás kérdéseivel. A hazai hidrobiológiában iskolateremtő szereppel bírt. Alapító tagja volt a Magyar Haltani Társaságnak.

Kutatási területeinek témaköreiben több mint háromszáz tudományos közlemény szerzője vagy társszerzője volt, hat könyve és negyvenöt könyvfejezete jelent meg. Tudományos előadásainak száma 100 fölötti. A legtöbbet idézett hazai ichtiológusok közé tartozik. Munkáit elsősorban magyar és angol nyelven adta közre.

Szerteágazó, eredményes tudományos és közéleti munkásságát számos díjjal és kitüntetéssel jutalmazták. Tudományos tevékenységét 1987-ben Akadémiai-díjjal ismerték el; 2014-ben megkapta a Magyar Érdemrend középkeresztjét.

1969-től a Magyar Hidrológiai Társaság tagja, a Társaság Limnológiai szakosztályának 1990-2018. között elnöke volt. 1973 óta, 44 éven át szervezte a tihanyi Hidrobiológus Napokat, mely a tudományos és gyakorlati szakemberek közös fórumaként évtizedeken át jelentős mértékben hozzájárult vizeink megismeréséhez, illetve megfelelő kezeléséhez és védelméhez. Elévülhetetlen ér-

demeket szerzett abban, hogy ez a rendezvénysorozat az MHT legrégebb, magas szakmai színvonalú programja volt. Szervezőmunkájával segítette, hogy a rendezvénysorozat előadásai megjelenjenek a Hidrológiai Közönyben, amelynek haláláig hosszú éveken át szerkesztőbizottsági tagja is volt.

Emellett szakosztályi elnökként 2008-ban támogatta a Szikes Vízi Munkacsoport megalakítását is, mely jelentősen hozzájárult a nemzetközi szinten is különlegesnek számító szikes vizeink felfedező kutatásához. Kiemelkedő társasági tevékenységét, szervező munkáját az MHT 1999-ben Pro Aqua emlékéremmel, 2002-ben Schafarzik Ferenc emlékéremmel, 2011-ben Tiszteleti Tag kitüntető címmel ismerte el.

Kiemelt feladatának tekintette a kezdő kutatók irányítását, támogatását. Tudományos, tudományszervező és felsőoktatási tevékenysége egyaránt értékesen hozzájárult tudományterületének fejlődéséhez. Emberi kapcsolataiban közvetlen, kollegiális, segítőkész volt.

Személyében nemcsak a neves kutatót, ichtiológust, a halpopuláció dinamika kiemelkedő szakemberét gyászoljuk, de a Magyar Hidrológiai Társaság fél évszázadon keresztül tevékenyen és fáradhatatlanul működő tagját is.

Emlékét kegyelettel megőrizzük!

*Dr. Szilávik Lajos*  
*a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke*

*Dr. Boros Emil*  
*a Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztály*  
*elnöke*