

# HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY

HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 104. ÉVF. 1. SZÁM • 2024  
JOURNAL OF THE HUNGARIAN HYDROLOGICAL SOCIETY • VOL. 104, ISSUE 1 • 2024



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

## **A HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY ELŐFIZETÉSE**

A [http://www.hidrologia.hu/mht/index.php?option=com\\_jellap15&Itemid=209](http://www.hidrologia.hu/mht/index.php?option=com_jellap15&Itemid=209) címen található űrlap kitöltésével és visszaküldésével megrendelhető nyomtatott formában a Magyar Hidrológiai Társaság szaklapja, a Hidrológiai Közlöny.

### **A kiadvány 2024. évi előfizetői díjai az alábbiak:**

**cégeknek 1-4. szám: 13 200 Ft/év**

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

(Az árak az 5% áfát tartalmazzák.)



## Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja  
Megjelenik háromhavonként

### Főszerkesztő

Major Veronika

### Főszerkesztő-helyettes és olvasószerkesztő

Konecsny Károly

### Szakszerkesztő

Ács Éva

### Szerkesztőbizottság elnöke

Szöllősi-Nagy András

### Szerkesztőbizottság tagjai

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

### Kiadó

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



### Indexelik

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

## Tartalomjegyzék

Major Veronika: Előszó .....	3
<b>TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK</b>	
Koncsos László, Murányi Gábor: A Kovács-féle retenciós függvény továbbfejlesztése .....	4
Jakus György, Kertész József, Mohácsiné Simon Gabriella, Pannonhalmi Miklós: Az újjászülető Szigetköz .....	17
Liptay Zoltán Árpád: Egy dimenziós hidrodinamikai modell fejlesztése a Tisza hazai szakaszára .....	40
Pomázi Flóra, Baranya Sándor: Komplex folyami lebegtetett hordalékszállítási folyamatok szimuláció alapú vizsgálata revitalizációs célú beavatkozások támogatására .....	56
<b>FÓRUM</b>	
Zsoldos Zoltán: Vízépítési tevékenység hatása a természetes vizek halállományára .....	71
Laczi Zoltán, Barabás Imre: KÖTIVIZIG: ahol minden (víz) szál összefut .....	78
<b>KÖNYVISMERTETÉS</b>	
Szöllősi-Nagy András: Az előrejelzés nehéz dolog, különösen, ha a jövőre vonatkozik .....	86
<b>NEKROLÓG</b>	
Szöllősi Zoltán Tibor – Szlávik Lajos megemlékezése .....	88

Címlapkép: Drónfotón a Rába és a Mosoni-Duna találkozása a 2023-as december végi árvíz során (Fotó: O. Jakócs Péter)



## Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society  
Published quarterly

### Editor-in-Chief

Veronika MAJOR

### Deputy Editor-in-Chief and Copy Editor

Károly KONECSNY

### Assistant Editor

Éva ÁCS

### Editorial Board Chairman

András SZÖLLŐSI-NAGY

### Editorial Board Members

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

### Publisher

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



### Indexed in

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

## Contents

Veronika MAJOR: Foreword .....	3
<b>SCIENTIFIC PAPERS</b>	
László KONCSOS, Gábor MURÁNYI: Improvement of the Kovács water retention model .....	4
György JAKUS, József KERTÉSZ, Gabriella MOHÁCSINÉ SIMON, Miklós PANNONHALMI: The rebirthing Szigetköz (Hungary) .....	17
Zoltán Árpád LIPTAY: 1D hydrodynamic modelling on River Tisza: challenges, results, difficulties .....	40
Flóra POMÁZI, Sándor BARANYA: Simulation-based assessment of complex suspended sediment transport processes to support revitalisation measures .....	56
<b>FORUM</b>	
Zoltán ZSOLDOS: The effect of water construction activities on the fish population of natural waters .....	71
Zoltán LACZI, Imre BARABÁS: KÖTIVIZIG: where all (water) threads run together .....	78
<b>BOOK REVIEW</b>	
András SZÖLLŐSI-NAGY: Forecasting is a difficult thing – particularly if it concerns the future .....	86
<b>OBITUARY</b>	
Zoltán Tibor SZÖLLŐSI – Commemoration by Lajos SZLÁVIK ..	88

Cover photo: Drone photo of the confluence of the Rába and the Mosoni-Danube during the flood at the end of December 2023 (Photo: Péter O. Jakócs)

## Előszó



Az egyedi és különleges képért köszönetet mondunk O. Jakócs Péter fotóriporternek.

A Hidrológiai Közöny 104. évfolyamának (2024) 1. száma tudományos szintű szakmai közleményeket és izgalmas Fórum témákat tár olvasói elé.

*Koncsos László és Murányi Gábor* „A Kovács-féle retenciós függvény továbbfejlesztése” című közleménye a Kovács-féle retenciós függvény tökéletesítésével küszöböli ki az alacsonyabb szivási tartományban észlelt, a talaj telítettségének túlbecsülésével kapcsolatos hibákat. A mintegy 600 kútra elvégzett elemzés alapján a módosított Kovács-féle függvény a négyzetes középérték hiba vonatkozásában 4,3-szer jobb eredményt ad, mint az eredeti Kovács-féle függvény.

A 103/2 kötetben megjelent „Insula Insolita – Szigetköz és Bős-Nagymaros párhuzamos története” című közlemény gondolatait folytatja *Jakus György, Kertész József, Mohácsiné Simon Gabriella és Pannonhalmi Miklós* „Az újjászülető Szigetköz” című dolgozatukban, bemutatva azt a szakmai bravúrnak számító munkát, mely nemcsak megmentette, de jelentősen javította a Szigetköz elterelés előtti természeti állapotát.

*Liptay Zoltán Árpád* az „Egy dimenziós hidrodinamikai modell fejlesztése a Tisza hazai szakaszára” című közleményében bemutatja a Tisza vízrendszerének modellezésére továbbfejlesztett 1D hidrodinamikai modellt, melynél a szimuláció sebessége és stabilitása is kielégítő és alkalmas arra, hogy az OLSER rendszer részeként a jövőben támogassa az árhullám-transzformációs számításokat és hozzájáruljon a pontosabb előrejelzésekhez.

Hogyan vándorol a lebegtetett hordalék felszíni vizeinkben? Be tudunk avatkozni ezekben a folyamatokba? Erre a kérdésre adja meg a választ *Pomázi Flóra és Baranya Sándor* a „Komplex folyami lebegtetett hordalékszállítási folyamatok szimuláció alapú vizsgálata revitalizációs célú beavatkozások támogatására” című közleményükben. A szerzők egy 3D numerikus modellt építettek fel, igazolták és

alkalmazták a Duna felső-magyarországi szakaszán (Gönyű) a lebegtetett hordalék szállításának a szimulálására.

A FÓRUM rovatban *Zsoldos Zoltán* járja körül a vízepítési tevékenység hatását a természetes vizek halállományára. A közlemény – felhasználva a 1980-2017 között a Halászat szaklap hasábjain megjelent közlemények elemzését – arra keresi a választ, hogy az elmúlt másfél évszázadban hogyan és miért csökkent természetes vizeink halállományára. A tanulmány második része a horgászati fogási eredmények vizsgálatával adja meg a választ arra a kérdésre, hogy a vízepítési tevékenységek közül a duzzasztás hogyan befolyásolja a halállományt.

Ugyancsak a FÓRUM rovatban mutatjuk be a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóságot, az MHT XLI. Országos Vándorgyűlésének házigazdáját. *Laczi Zoltán és Barabás Imre* segítségével invitáljuk a szakembereket az egyetlen hazai országos, integrált vízgazdálkodási, tudományos találkozóra, ahol hagyományosan hat szekcióban számos nívós dolgozatot kerül bemutatásra a vizes szakma teljes spektrumát képviselő szakemberek előtt.

A KÖNYVISMERTETÉS rovatban *Fejér László* mutatja be „Szöllősi-Nagy András: Az előrejelzés nehéz dolog, különösen, ha a jövőre vonatkozik” című könyvét. Az OVF Vízügyi Tudományos Tanácsa által kezdeményezett, „A jövőépítés a vízgazdálkodásban” című könyvsorozat legfrissebb kötete felidézti József Attila sorait:

„...örül, hogy lát ma itt, fehérek közt egy európaít. ...”

A különleges, letehetetlen olvasmány a kiadó honlapján megrendelhető: <https://www.typtex.hu/book/13577/szollosi-nagy-andras-az-elorejelzes-nehez-dolog>

A NEKROLÓG rovatban búcsúzzunk *Szöllősi Zoltán Tibortól*, aki 43 éves MHT tagsága során 1996-tól 2003-ig, dr. Starosolszky Ödön két elnöki ciklusa idején az MHT főtitkári pozícióját is betöltötte.

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

A Hidrológiai Közöny 2024-től kicsit kinyitja a kaput és külön kötetben angol nyelvű közleményeket is közzétesz. A hamarosan megjelenő közlési útmutató alapján várjuk a magyar nyelvű dolgozatokhoz hasonló, magas tudományos színvonalú angol közleményeket! *Good luck!*

*Dr. Major Veronika*  
a Hidrológiai Közöny főszerkesztője

## A Kovács-féle retenciós függvény továbbfejlesztése

Koncsos László, Murányi Gábor

Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: muranyi.gabor@emk.bme.hu)

DOI: 10.59258/hk.14996



### Kivonat

A telítetlen talajzónában a telítettség és a szívási potenciál közti kapcsolat leírásában fontos szerepe van a retenciós függvénynek. Ennek leírására számos függvénykapcsolat létezik, a legelterjedtebb a van Genuchten-féle retenciós görbe. A görbe paramétereinek meghatározásához laboratóriumi vizsgálatok szükségesek. A Kovács-féle retenciós függvény (Kovács 1968) előnye, hogy paramétereinek fizikai jellegűek és független mérések révén előállíthatók. Hátránya, hogy alacsonyabb szívási tartományban túlbecsüli a talaj telítettségét. A kutatás célja volt, hogy a Kovács-féle összefüggés továbbfejlesztésével kiküszöböljük ezt a hibát és a 3D Soil Hydraulic Database of Europe v1.0 adatbázis segítségével összehasonlítsuk a van Genuchten-féle leírással. Az összevetéshez a két módszer eredményeinek eltéréseiből számított négyzetes középérték hibát (RMSE) számítottuk, a kalibráció során a paraméterek optimalizálásával minimalizáltuk. A javítást a szívómagasságra bevezetett korrekciós függvényel valósítottuk meg. A van Genuchten és az eredeti Kovács retenciós függvény közt számított RMSE átlaga 0,0613, addig a van Genuchten és a módosított Kovács függvény között az RMSE átlaga 0,0145. Tehát a módosítással 4,3-szeres javítást sikerült elérni. A módosított szívómagasság korrekciós tényezőjének értékei és az átlagos kapilláris emelőmagasság értékei közt polinomiális kapcsolatot mutattunk ki, mellyel a módosított összefüggés számítása egyszerűsíthető, a paraméterek száma redukálható. Az egyszerűsítés bevezetésével az RMSE átlaga 0,0150 értékre adódott, amely ugyan 3%-os romlást jelent, de az eredeti Kovács függvényhez képest a javítás még így is jelentős maradt. A számításokat több, mint 600 monitoring kútra végeztük el, ezen túl az optimalizáláshoz 30 darab véletlenszerűen kiválasztott monitoring kútra összehasonlító elemzést végeztünk a kutak fűrészminta adataiból származtatható és a 3D Soil Hydraulic Database of Europe v1.0 adatbázis van Genuchten retenciós görbe paramétereiből számítható átlagos kapilláris emelőmagasságokra. A kétféle módon meghatározott átlagos kapilláris emelőmagasság értékek közt az összefüggés gyengének bizonyult, a korreláció  $R^2 < 0,25$ . Az összevetés rávilágított, hogy az adatbázis további finomítása szükséges, melyhez az új, javított Kovács-féle összefüggés alkalmasnak mutatkozik pedotranszfer (talajtani kutatások során kapott becslő) függvényként.

### Kulcsszavak

Víz tartóképeség-görbe, telítetlen zóna, van Genuchten modell, Kovács modell, talaj hidrofizikai tulajdonság adatbázis.

## Improvement of the Kovács water retention model

### Abstract

In the unsaturated soil zone (vadose zone), the relationship between saturation and suction potential plays a crucial role in describing the connection, known as the water retention curve (WRC). Various models for the WRC exist, with the most widely used being the van Genuchten model. Determining the parameters of the van Genuchten model requires laboratory investigations. The advantage of the Kovács water retention model lies in its physically interpretable parameters that can be derived through independent measurements. However, a drawback is its tendency to overestimate soil saturation in lower suction ranges. This paper focuses on addressing this issue by improving the Kovács model and comparing it with the van Genuchten model using the 3D Soil Hydraulic Database of Europe v1.0. For comparison, the root mean square error (RMSE) was calculated between the results of the two methods, with parameter optimization during calibration. The improvement was achieved by a suction correction function. The average RMSE value between the van Genuchten and the original Kovács model was 0.0613, while between the van Genuchten and the modified Kovács model, the average RMSE value was result 0.0145. Therefore, the modification resulted in a 4.3-fold improvement. Polynomial correlation was established between the values of the suction correction factor and the equivalent capillary rise, simplifying the computation of the modified function. With this simplification, the average RMSE value reduced to 0.0150. This represents a 3% degradation, but the improvement remains significant compared to the original Kovács function. The computations were performed for over 600 monitoring wells during optimization. Comparative analysis was conducted for 30 randomly selected monitoring wells, comparing the equivalent capillary rise derived from borehole data with the equivalent capillary rise derived from the parameters of the van Genuchten model from the 3D Soil Hydraulic Database of Europe v1.0. The correlation between the equivalent capillary rise determined by the two methods proved weak, with a correlation coefficient of  $R^2 < 0.25$ . This comparison highlighted the need for further refinement of the soil hydraulic database, for which the new and improved Kovács water retention model proves suitable as a pedotransfer function.

### Keywords

Water retention curve, vadose zone, van Genuchten model, Kovács water retention model, soil hydraulic database

### BEVEZETÉS

A szívárgó vízmozgás a telítetlen zónában a vízszállítását leíró speciális egyenlettel írható le. A Richards egyenlet (Richards 1931) központi szerepet játszik többek között az osztott paraméterű hidrológiai modellekben, ahol mind a párolgás számításában, mind a Darcy-modell (Darcy

1856) felső peremértékeinek meghatározásában talajnedvesség, illetve fluxus adatokat szolgáltat.

A háromfázisú zónában meghatározó jelentőségű a retenciós függvény, amely a víztartalom (vagy a telítettség) és a szívási potenciál közötti egyensúlyi kapcsolatot írja le.

A retenciós függvény matematikai leírására számos formula született (*van Genuchten 1980, Kovács 1981, Aubertin és társai 2003, Too és társai 2014*). Ezek közül a van Genuchten féle függvény a leginkább elterjedt (*van Genuchten 1980*). Paramétereinek meghatározására laboratóriumi vizsgálatok szolgálnak; a pontbéli mintavételre alapuló kísérleti eredmények térbeli kiterjesztése a paraméterek térképi interpolációját követeli meg. Ilyen eredmény például a 3D Soil Hydraulic Database of Europe at 250 m resolution (EU-SoilHydroGrids ver. 1.0) (röviden: EUSHG) adatbázis. Az ingyenesen hozzáférhető EUSHG adatbázis (<https://eusoil-hydrogrids.rissac.hu/250.php>) (*Tóth és társai 2017*) a Soil-Grids ([www.soilgrids.org](http://www.soilgrids.org)) (*Hengl és társai 2017*) alapján került kiszámításra hidraulikai pedotranszfer függvényekkel (*Tóth és társai 2015*).

A talajfizikai és modell-paraméterek térbeli interpolációja során a retenciós függvénynek olyan megfogalmazása előnyös, amelyben a függvény paraméterei fizikai alapokkal rendelkeznek. Ilyen függvény pl. a Kovács-féle retenciós függvény, amelynek paraméterei (porozitás, talaj szemcseátmérő) mérhető mennyiségek, legalább közvetett módon. Ilyen például az EUSHG adatbázis, az AGRO-TOPO adatbázis (*Várallyay és társai 1979, 1980, MTA TAKI 1991*) vagy a DOSOREMI adatbázis (*Pásztor és társai 2017*). A Kovács-féle függvényt széles körben elemezték, mérési megalapozása is megtörtént, azonban ismert hátránya az, hogy kötött talajok esetében az alacsonyabb szívási tartományban túlbecsüli a telítettség értéket (*Aubertin és társai 2003, Mbonimpa és társai 2006*). Ennek a bizonytalanságnak a kiküszöbölése a jelen munka célkitűzése, a Kovács-féle függvény továbbfejlesztése által. Célnk a javasolt továbbfejlesztés bemutatása és széleskörű vizsgálata. Ezt oly módon kísérjük meg, hogy a mértékadó leírásnak tekintett van Genuchten-féle függvényt országos léptékben, adatbázisok elemzésével összehasonlítjuk az új függvénnyel. Végül célunk egy olyan algoritmusra javaslat kidolgozása, amely alkalmas a fizikai alapokon nyugvó, új, javított Kovács-féle retenciós görbe felhasználására pedotranszfer függvényként.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A kapilláris víztartalom a póruseloszlás lineáris függvénye, ugyanis a kapilláris emelőmagasság fordítottan arányos a pórusmérettel. Az adhéziót, mint a nedvességtartalmat befolyásoló másik fizikai hatást, befolyásoló Van der

Waals erő, a vízfilm vastagságával (ebből következően a víztartalommal) függ szorosán össze (*Kovács 1968*).

Fentiek következtében levezethető a víztartalom és a potenciál közötti (1) elméleti összefüggés is (*Kovács 1981*):

$$S_{\Psi}^K = 1 - \left[ \left( \frac{h_{c0}}{\Psi} \right)^2 + 1 \right] \left[ 1 - 1,4 \cdot 10^{-3} \left( \frac{h_{c0}}{\Psi} \right)^{1/6} \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} h_{c0}^{3/2} \right] \exp \left[ - \left( \frac{h_{c0}}{\Psi} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$S = w/\varepsilon \quad (2)$$

$$\Psi = -p/\gamma \quad (3)$$

ahol  $S_{\Psi}^K$  a telítettség Kovács szerint egy adott szívómagasságban [ $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , azaz -], (az  $S$  telítettség kifejezhető a (2) képlet szerint is),  $\Psi$  a szívómagasság [cm] a (3) összefüggés szerint,  $h_{c0}$  az átlagos kapilláris emelőmagasság [cm],  $\varepsilon$  a hézagterfogat [-],  $w$  a talaj víztartalma [-],  $p$  a vízfázisban uralkodó negatív nyomás (feszültség) [ $\text{kN}/\text{m}^2$ ], és  $\gamma$  a víz térfogatsúlya [ $\text{kN}/\text{m}^3$ ]. A továbbiakban a „K” rövidítés az eredeti Kovács-féle retenciós összefüggésre utal. Az átlagos kapilláris emelőmagasság a szakirodalom szerint a porozitás és a hatékony szemátmérő függvényében fejezhető ki a (4) egyenlettel:

$$h_{c0} = 0,075 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{\alpha}{d_h} \quad (4)$$

ahol  $d_h$  a hatékony szemátmérő [cm], amely olyan monodiszperz rendszer részecskéinek mérete, amelynek összfelülete a valódi, modellezett talaj szemcsefelületével azonos, valamint a valódi és azzal ekvivalens rendszer porozitása is azonos,  $\alpha$  pedig az alaktényező. Az alaktényező az (5) összefüggés szerint számítható:

$$\alpha = \frac{F \cdot D}{V} \quad (5)$$

ahol  $F$  a talajszemcse felülete [ $\text{cm}^2$ ],  $D$  a talajszemcse köré rajzolható gömb átmérője [cm], és  $V$  a talajszemcse térfogata [ $\text{cm}^3$ ]. A szakirodalom szerint az alaktényező a szabályos geometriai formájú részecskéknél a következőként alakul: gömb esetén  $\alpha = 6$ ; kocka és oktaéder esetén  $\alpha = 10,4$ ; tetraéder esetén pedig  $\alpha = 18$  (*Kovács 1981*). Az 1. táblázatban az átlagos kapilláris emelőmagasság értékére a szabvány felező szitasor szerinti egyes talajrészekre nagyságrendi becslést adunk. A táblázatba foglalt értékek számítása során az egyszerűsítés végett egységesen  $\alpha = 10$  alaktényezőt és  $\varepsilon = 0,45$  hézagterfogatot feltételeztünk.

1. táblázat. Az átlagos kapilláris emelőmagasság becslése egyes szemcsés talajok esetén  
Table 1. Estimation of equivalent capillary rise height for some granular soils

Talaj frakció megnevezése	Szemátmérő felső határa, d [cm]	Átlagos kapilláris emelőmagasság, $h_{c0}$ [cm]
Közepes homok	0,0250	36,7
Nagyon finom homok	0,0062	147,8
Iszap	0,0016	572,9
Nagyon finom iszap	0,0004	2 291,7
Agyag	0,0002	4 583,3

Az (1) összefüggés nagy előnye, hogy paraméterei fizikai jellegűek, és független mérések révén előállíthatóak. Az egyenlet kapilláris csőhálózat modell alapján lett levezetve és elméletben teljesen megalapozott (*Kovács 1981*).

Már Kovács is felhívta a figyelmet, hogy az elméleti görbének (1) három jellegzetes szakasz van. A felső, csaknem függőleges része az adhéziós tartományt tükrözi; ezt egy enyhén ereszkedő rész követi, amelyben a víztartalom hir-

telen nő a szívófelesztés csökkenése mellett, majd végül egy közel függőleges görbeszakasz kapcsolja a retenciós függvényt az egységnyi telítettségi értékhez, amely a telített zóna határa. Az (1) függvény a fenti karakterisztikát követi. A retenciós függvény három szakaszos jellege gyakran nem figyelhető meg finom homokos talajok esetében. A szívómagasság függvényében a kohéziós talajokra jellemző, fokozatosan csökkenő víztartalom (telítettség) rajzolódik ki. Ez visszavezethető a retenciós görbe meghatározása során előidézett szívásra és az ebből adódó expanzióra (fellazulásra). Ez a jelenség a valóságban a talajoszlop súlya alatt nem következik be (Kovács 1981). Megjegyezzük, hogy pl. az EUSHG adatbázis összes retenciós függvénye ilyen – azaz fokozatosan csökkenő telítettséget mutat a szívási potenciál csökkenése mellett.

A fenti megfigyelés az (1) függvény korrekcióját igényli. A matematikai korrekció konkrét megvalósítására Kovács nem tett javaslatot, de a jelenség értékelése során egyenértékűséget feltételezhetünk a minta expanziója és az (1) függvényben a szívómagasság átalakítása között. Mivel a megfigyelések szerint a talajminta expanziója csak kötött talajoknál fordul elő, feltételeztük, hogy a függvény-korrekciót a talaj kötöttségét jellemző  $h_{c0}$  függvényében kell felírni.

Feltételeztük a fenti megfigyelést legegyszerűbb módon kielégítő lineáris transzformációt, amit a (6) egyenlet ír le. Ez a transzformáció nem elégíti ki a peremfeltételi összefüggést, amely szerint  $\Psi = 0$  mellett  $S = 1$ . E problémát az alábbi Monod-típusú függvénnyel (7) (Monod 1949) küszöböltük ki:

$$\Psi^* = \Psi + a \cdot h_{c0} \quad (6)$$

$$a = a_0 \cdot \frac{\Psi}{\beta h_{c0} + \Psi} \quad (7)$$

ahol  $\Psi^*$  a korrigált szívómagasság [cm],  $a$ ,  $a_0$  és  $\beta$  pedig korrekciós tényezők [-]. A modellkísérleti tapasztalatok szerint  $\beta \cdot h_{c0} \ll h_{c0}$ , és így gyakorlati szempontból jó eredmény érhető el  $\beta = 0,05$  konstans érték felvételével. Mint a (7) összefüggésből látható,  $\Psi = 0$  esetén  $a = 0$ ;  $\Psi$  növekedésével pedig  $\frac{\Psi}{\beta h_{c0} + \Psi} \rightarrow 1$ , így  $a \rightarrow a_0$ . A (7) egyenletet a (6) képletbe helyettesítve a (8) összefüggéssel bevezetjük a korrigált szívási potenciált:

$$\Psi^* = \Psi + a_0 \cdot \frac{\Psi}{\beta h_{c0} + \Psi} \cdot h_{c0} \quad (8)$$

A módosított Kovács-féle retenciós függvény pedig az eredetivel formailag azonos, de a szívási potenciál a (8) összefüggés szerint számítandó. A továbbiakban az „MK” rövidítés a módosított Kovács-féle retenciós összefüggésre utal, számítása pedig a (9) képlettel történik:

$$S_{MK}^* = 1 - \left[ \frac{h_{c0}}{\Psi^*} + 1 \right] \left[ 1 - 1,4 \cdot 10^{-2} \left( \frac{h_{c0}}{\Psi^*} \right)^{1/6} \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} h_{c0}^{3/2} \right] \exp \left[ - \left( \frac{h_{c0}}{\Psi^*} \right)^2 \right] \quad (9)$$

A (9) függvénynek három paramétere van,  $h_{c0}$ ,  $\varepsilon$  és  $a_0$  (amely  $\Psi^*$  kiszámításához szükséges).  $\Psi^*$  számítása során  $\beta = 0,05$  állandónak tekinthető, csak az  $a_0$  korrekciós tényező értékét kell meghatározni. Tehát a (9) összefüggéshez kalibrálandó a  $h_{c0}$ ,  $\varepsilon$  és  $a_0$  értéke. Amennyiben  $a_0 = 0$  az eredeti Kovács-féle retenciós

függvényt kapjuk. Ezeket a korrekciós megfontolásokat mérési eredmények alapján igazolni kell.

Az összehasonlító elemzések elvégzéséhez az EU-SoilHydroGrids ver. 1.0 (EUSHG) szabadon elérhető adatbázist alkalmaztuk. A mért adatok alapján történő összehasonlításhoz az Operatív Vízhány Értékelő és Előrejelző Rendszer (OVÉER) adatbázisát alkalmaztuk (<https://aszalymonitoring.vizugy.hu/>). Néhány talajvíz monitoring kút esetén rendelkezésünkre állt a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézetet (VITUKI) eredeti talajfizikai fűrészminta adatbázisa. A talajvíz monitoring kutak adatbázisát és a mért talajvízszint idősorokat (1961-2013) az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) bocsátotta rendelkezésünkre. Vizsgálataink helyszínül az Alföldet választottuk, mert ott a fizikai talajfeleslégek sokaságán (1. ábra) tesztelhetőek a leírt összefüggések.

## EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

### Retenciós függvények összehasonlító elemzése

A retenciós függvény paramétereit becsülő eljárások kidolgozásának célja, hogy segítségükkel többnyire olcsón és könnyen mérhető talajtani (pedológiai) adatok (pl. szemeloszlás, porozitás) alapján kiszámíthatóak legyenek a költség- és időigényesen meghatározható talajjellemzők értékei (pl. pF görbe paramétere).

Ebben a folyamatban a Kovács függvény továbbfejlesztését egy országos lefedettségű adatbázis segítségével ellenőriztük. Az alkalmazási példa az EUSHG adatbázis. Az adatbázis 2 m mélységig hét talajmélységben tartalmaz talaj hidrofizikai tulajdonságokat (THT). Létrehozásának célja, hogy teljes kontinentális lefedettségű THT adatokat biztosítson, amelyek lehetővé teszik a hidrológiai, ökológiai, légköri, mezőgazdasági vagy egyéb környezeti modellezést kontinentális és regionális léptékben. Az adatbázis tartalmazza a van Genuchten féle retenciós függvény paramétereit  $\overline{p_{vG}} = [s_0, \alpha_{vG}, n]$  a következő talajrétegekben: 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm, 100-200 cm, és 200 cm alatt (Tóth és társai 2015, 2017, Hengl és társai 2017).

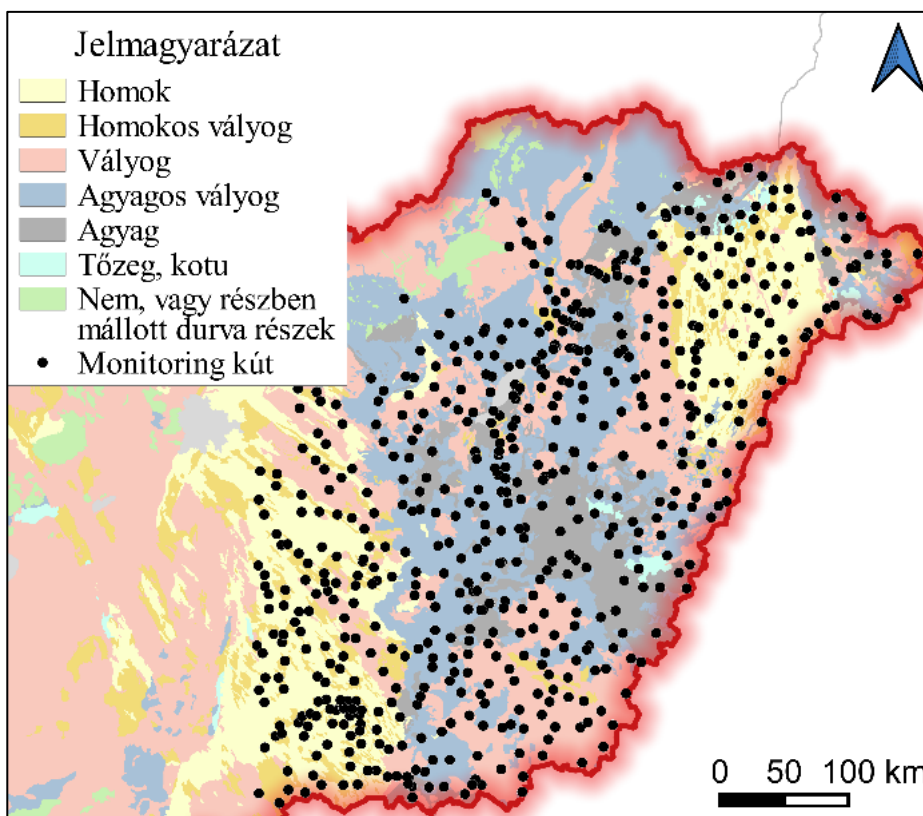
A módosított Kovács-féle függvény (9) alkalmazhatóságának előfeltétele az, hogy a (10) van Genuchten féle retenciós összefüggéshez (a továbbiakban: „vG”) nagyfokú hasonlóságot mutasson.

$$S_{vG}^* = S_0 + \frac{1 - S_0}{[1 + (\alpha_{vG} \cdot \Psi)^n]^m} \quad (10)$$

ahol  $S_{vG}^*$  az egyensúlyi telítettség [-] a  $\Psi$  szívómagasság mellett vG (10) alapján,  $S_0$  a reziduális víztartalom [-],  $n$  és  $m$  [-] kitevők ( $m \cong 1 - \frac{1}{n}$ ) és az  $\alpha_{vG}$  [ $\text{cm}^{-1}$ ] szorzó az egyenlet paramétere (van Genuchten 1980).

Az általunk módosított Kovács-féle retenciós függvényt a magyarországi talajvíz monitoring rendszer Dunától keletre fekvő kútjainál elemeztük; itt a vG görbe paramétereit letöltöttük az EUSHG adatbázisból. A monitoring pontokat azért választottuk, hogy az adatbázis retenciós függvényeit összehasonlíthassuk mérési eredményekkel. A kiválasztott monitoring kutak száma 623, elhelyezkedésüket az 1. ábra szemlélteti. Az összes elemzett retenciós görbe száma  $7 \times 623 = 4361$ .





1. ábra. A vizsgált kutak elhelyezkedése az AGROTOPO fizikai talajfésleség térképen ábrázolva (Alaptérkép forrása: MTA TAKI 1991)

Figure 1. Location of the investigated monitoring wells on the AGROTOPO physical soil types map (Base map: MTA TAKI 1991)

Minden monitoring pontban és minden réteg-mélységben előállítottuk a (10) egyenlet szerinti vG retenciós függvényeket. A 0-4,2 pF potenciál-tartományt  $n = 500$  egyforma  $d\Psi$  távolságban levő pontra osztottuk (11):

$$\Psi_i = i \cdot d\Psi, i = 1, \dots, 500 \quad (11)$$

E pontokban meghatároztuk (10) alapján  $S_{\Psi_i}^{vG}$  ( $i = 1, \dots, 500$ ) a vG telítettség értékeket. Ezen potenciál értékeknél az MK függvény valamely paraméter-vektora mellett meghatároztuk a  $S_{\Psi_i}^{MK}$  ( $i = 1, \dots, 500$ ) értékeket is. Ezek alapján képeztük a (12) célfüggvényt, mely célja, hogy a két módszer eredményéből számított átlagos négyzetes hiba négyzetgyökének (RMSE) az értéke a legkisebb legyen.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_{\Psi_i}^{vG} - S_{\Psi_i}^{MK})^2} \quad (12)$$

ahol  $S_{\Psi_i}^{vG}$  a vG retenciós görbe (10) alapján számított telítettség a  $\Psi_i$  szívómagasságnál,  $S_{\Psi_i}^{MK}$  az MK retenciós görbe (9) alapján számított telítettség a  $\Psi_i$

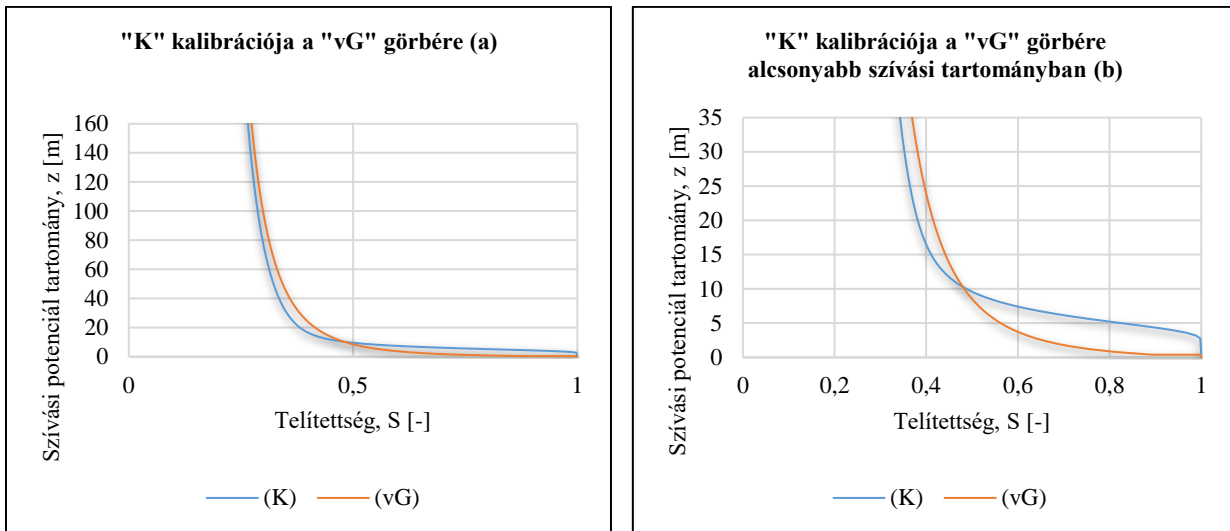
szívómagasságnál, és  $n$  a 0- 4,2 pF tartományon felvett pontok száma, esetünkben  $n = 500$ .

A (12) célfüggvény minimumát a BLIND-féle sztochasztikus optimalizációs módszerrel (Koncsos és társai 1995) határoztuk meg, az MK függvény paramétereinek szisztematikus változtatásával. A módosított Kovács-féle retenciós függvény minimumánál az  $\varepsilon$  porozitás [-],  $h_{c0}$  átlagos kapilláris emelő magasság [cm], és az  $a_0$  expanzió-korrekciós tényező [-] optimális értéket vesz fel. Ezen értékeknél az MK függvény és a vG függvény absztrakt távolsága a legkisebb.

A kalibrációt végrehajtottuk az összes monitoring pontra és az összes talajrétegre, ami a EUSHG adatbázisban az 1. ábra pontjaiban előfordul.

A fenti elemzést megismételtük  $a_0 = 0$  értékre, ami az eredeti Kovács-féle (a továbbiakban „K”) retenciós függvény optimális paraméter értékeit adja [(1) egyenlet]

Példaként az 1657 kódjelű monitoring pontnál látható a kétféle közelítés eltérő jellege és pontossága; a 2.a és 2.b ábra rámutat az eredeti Kovács-féle függvény gyenge pontjára is:

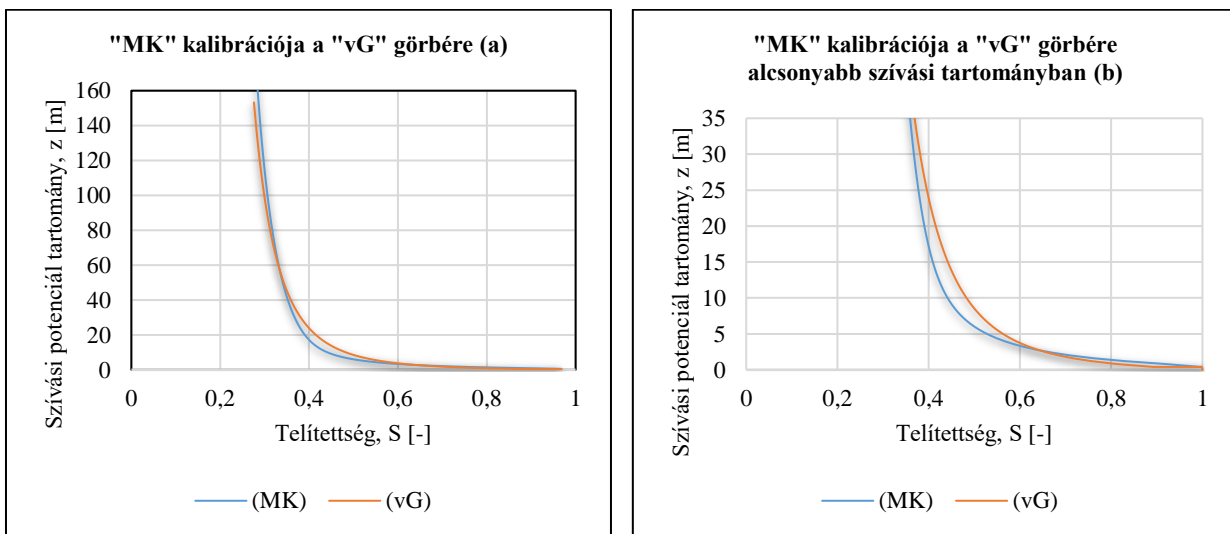


2. ábra. Eredeti Kovács-féle retenciós függvény (K) kalibrációja a van Genuchten-féle retenciós görbére (vG) a 1657 kódjelű monitoring pontban (réteg: 200 cm alatt). a) balra a kalibráció eredménye a 0-160 m szívási potenciál tartományban ( $R^2 = 0,89$ ,  $RMSE = 0,068$ ); b) jobbra: ugyanez a 0-35 m tartományban

Figure 2. Calibration of the original Kovács retention function (K) to the van Genuchten retention curve (vG) at the monitoring point code 1657 (layer: below 200 cm). a) to the left, the calibration result in the suction potential range of 0-160 m ( $R^2 = 0.89$ ,  $RMSE = 0.068$ ); b) to the right: the same in the 0-35 m range

Mint a 2. ábrán látható, az eredeti Kovács-féle retenciós görbe (K) a pF 0-4.2 tartományban a van Genuchten (vG) függvényt  $RMSE = 0,068$  értékkel közelíti, viszont az alacsony pF értékek (0-35 m) mellett az egyensúlyi telítettséget jelentősen túlbecsüli a van Genuchten-féle függvényhez

képest. A módosított Kovács féle (MK) összefüggés az egész tartományon hasonlóan jó közelítést produkál (3. ábra), mint a van Genuchten féle (8) egyenlet. A közelítés hibája:  $RMSE = 0,013$ , ami az eredeti hibát ötödére csökkenti, a két görbe között  $R^2 = 0,971$  korrelációt eredményez.

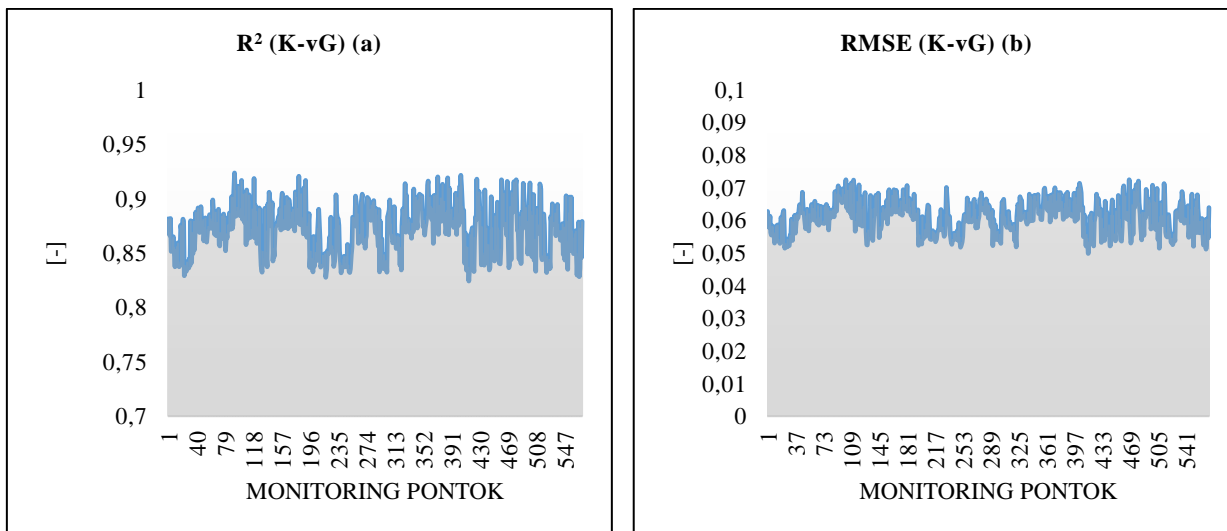


3. ábra. Módosított Kovács-féle retenciós függvény (MK) kalibrációja a van Genuchten-féle retenciós görbére (vG) az 1657 kódjelű monitoring pontban (réteg: 200 cm alatt). a) balra a kalibráció eredménye a 0-160 m szívási potenciál tartományban; b) jobbra ugyanez a 0-35 m tartományban ( $R^2 = 0,971$ ,  $RMSE = 0,013$ )

Figure 3. Calibration of the modified Kovács retention function (MK) to the van Genuchten retention curve (vG) at the monitoring point code 1657 (layer: below 200 cm). a) to the left, the calibration result in the suction potential range of 0-160 m ( $R^2 = 0.89$ ,  $RMSE = 0.068$ ); b) to the right: the same in the 0-35 m range

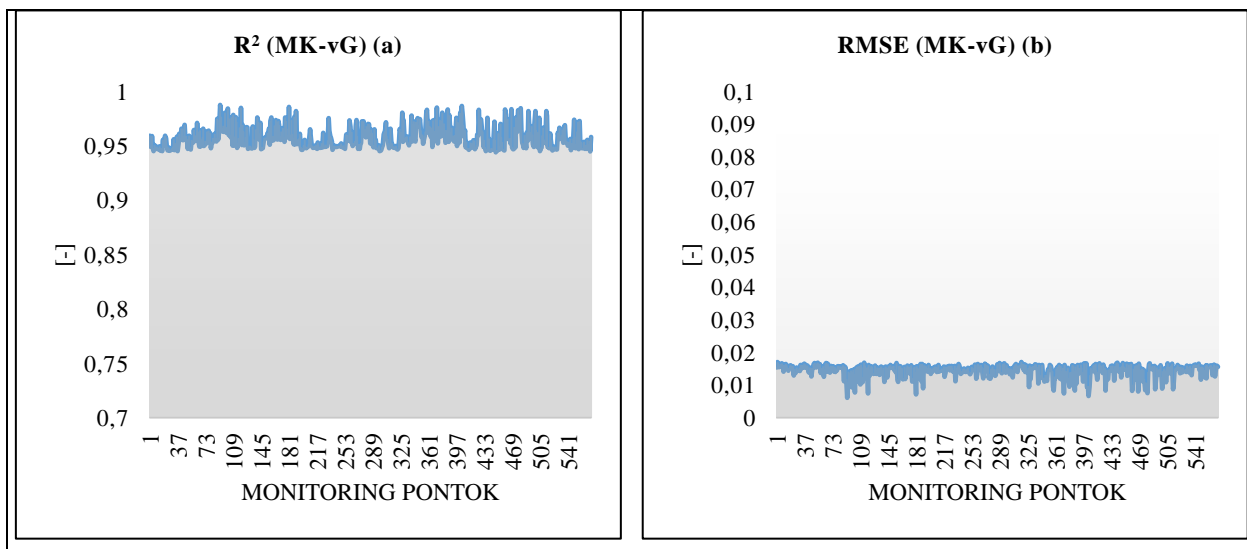
Matematikai értelemben tehát adva voltak minden monitoring pont esetében a  $\overline{p_{vG}} = [s_0, \alpha_{vG}, n, m]$  paraméter értékek, továbbá az  $\varepsilon$  porozitás. A kalibráció szolgáltatotta a  $[h_{c0}, a_0]$  értékeket,  $\varepsilon$

értéke rögzített volt a kalibrációban. A vizsgált monitoring rendszerre végrehajtott kalibráció eredményét mind a K, mind az MK közelítésre a 4. és 5. ábrák mutatják.



4. ábra. Az eredeti Kovács (K) és a van Genuchten (vG) retenciós függvény közötti  $R^2$  és RMSE érték az optimalizáció után. a) balra  $R^2$  érték, b) jobbra RMSE érték.

Figure 4. The  $R^2$  and RMSE values between the original Kovács (K) and the van Genuchten (vG) retention function after optimization. a)  $R^2$  value to the left, b) RMSE value to the right.



5. ábra: A módosított Kovács (MK) és a van Genuchten (vG) retenciós függvény közötti  $R^2$  és RMSE érték az optimalizáció után. a) balra  $R^2$  érték, b) jobbra RMSE érték.

Figure 5. The  $R^2$  and RMSE values between the modified Kovács (MK) and the van Genuchten (vG) retention function after optimization. a)  $R^2$  value to the left, b) RMSE value to the right.

A 4. ábra a kalibrált eredeti Kovács függvény (K) és a van Genuchten retenciós görbék (vG) közötti korrelációs-négyzet és RMSE (lásd (12) egyenlet) értékeket mutatják monitoring pontonként. Ezek a jellemzők a vG függvény K típusú függvénnyel való közelítésének minőségét mérik. Az 5. ábra ugyanezen kapcsolatokat mutatja a módosított Kovács függvény (MK) alkalmazásával.

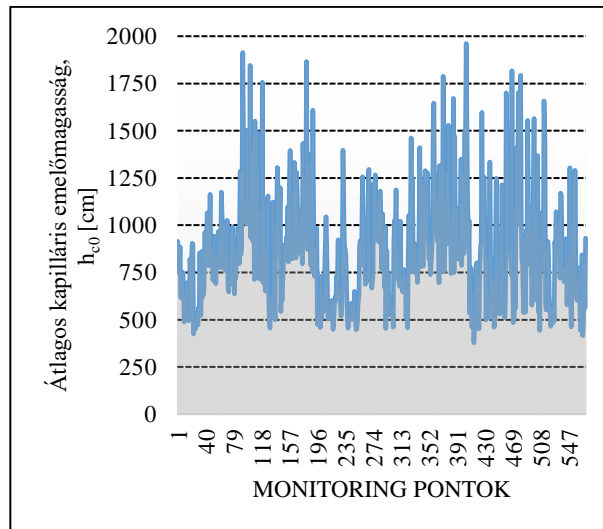
Átlagolva az összes pont eredményét, azt látjuk a 2. táblázatban, hogy az MK függvény az RMSE vonatkozásában 4,3-szer jobb eredményt ad, alapvetően az alacsony pF tartományban jelentkező hiba kiküszöbölésével.

Az MK függvény kalibrált  $h_{c0}$  paraméterét monitoring pontonként a 6. ábra mutatja. Az 1. táblázat alapján látható, hogy ez a  $h_{c0}$  szemcseméretre való (4) kapcsolatá-

ból kiolvashatóan szinte mindenhol az iszap tartományt jelenti. Az AGROTOPO országos talajfizikai térkép alapján (lásd 1. ábra alaptérkép) azonban számos monitoring pontban várnánk homok talajtípus előfordulását. Ez utal arra, hogy a EU-SoilHydroGrids ver1.0 előállításánál alkalmazott pedotranszfer függvényt valószínűleg javítani kell.

2. táblázat. Statisztikai mutatók átlagértékei K-vG és MK-vG függvények összehasonlítására  
Table 2. Average values of statistical indicators for the comparison of K-vG and MK-vG functions

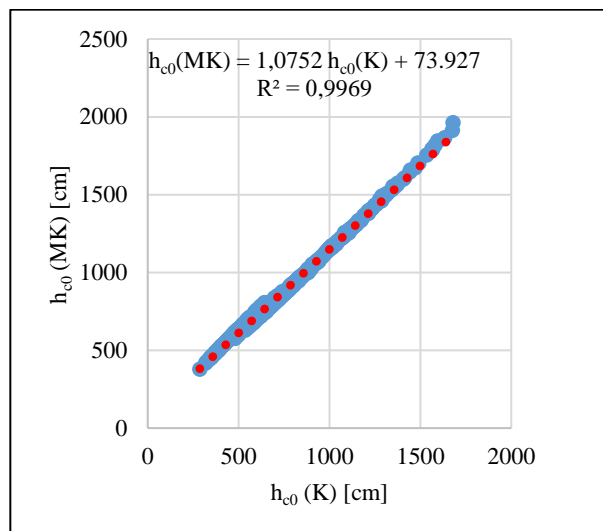
átlagok	K-vG	MK-vG
RMSE	0,061289	0,014539
$R^2$	0,872766	0,958002



6. ábra: Az MK függvény kalibrált átlagos kapillaris emelőmagasság értékei az egyes monitoring kutaknál  
 Figure 6. Values of the calibrated equivalent capillary rise height of the MK function for the investigated monitoring wells

Az MK és K függvényekkel való közelítés kalibrálása során nyert optimális  $h_{c0}$  értékek között erős lineáris kapcsolat figyelhető meg, melyet az összes monitoring ponthoz kapcsolódó eredmény alapján a 7. ábrán mutatunk be. A diagramon feltüntettük a kapcsolatot leíró egyenes egyenletét

is, melyen látható, hogy a meredekség 1,0752, mely közel áll a tökéletes kapcsolatot leíró 1,0 értékhez. Ezt mutatja a korreláció négyzet  $R^2 = 0,9969$  értéke is. Az egyenletből leolvasható, hogy az MK átlagosan nagyjából 73,9 cm-rel nagyobb  $h_{c0}$  értéket számít K függvényhez képest.

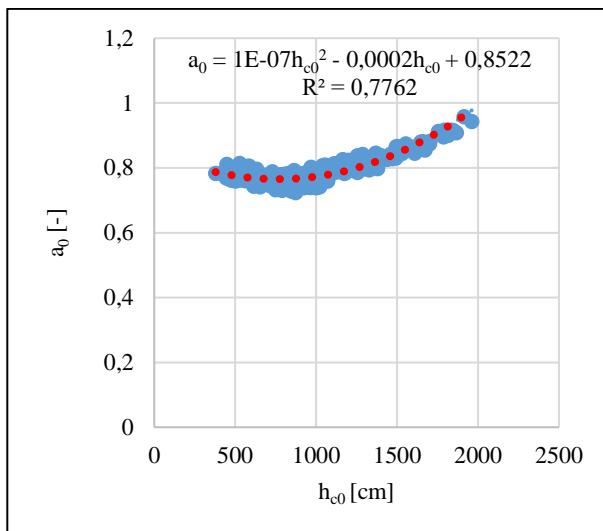


7. ábra: Az (MK) és (K) függvény közelítések kalibrációja során nyert  $h_{c0}$  [cm] értékek kapcsolata  
 Figure 7. Relationship of  $h_{c0}$  [cm] values obtained during the calibration of (MK) and (K) function approximations

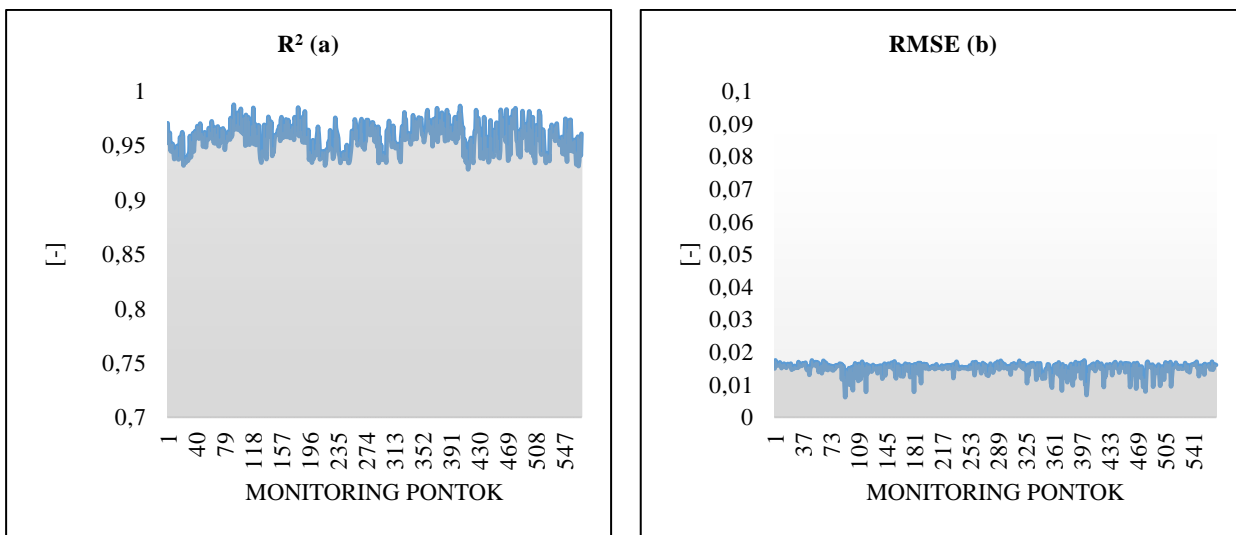
A kalibrált  $a_0$  értékekre  $h_{c0}$  függvényében nyert polinomiális kapcsolat a (13) egyenlettel adható meg. A kapcsolat statisztikailag erősnek ( $R^2 = 0,78$ ) adódott, és lehetőséget ad a kalibrálandó paraméterek számának redukálására:

$$a_0 = 10^{-7} h_{c0}^2 - 0.0002 h_{c0} + 0.852 \quad (13)$$

Ha a kalibráció folyamatából az  $a_0$  paramétert kizárjuk, és ehelyett a (13) összefüggés alapján számoljuk  $h_{c0}$  függvényében, akkor az eredeti K közelítéshez képest a javítás mégis jelentős marad (9. ábra). A továbbiakban ezt módszert MK\* jelöli.



8. ábra. Az  $a_0$  paraméter kapcsolata a  $h_{c0}$  paraméterrel a monitoring pontoknál a kalibrációs elemzések alapján  
 Figure 8. Relationship between  $a_0$  parameter and  $h_{c0}$  parameter at the monitoring points based on the calibration analyses

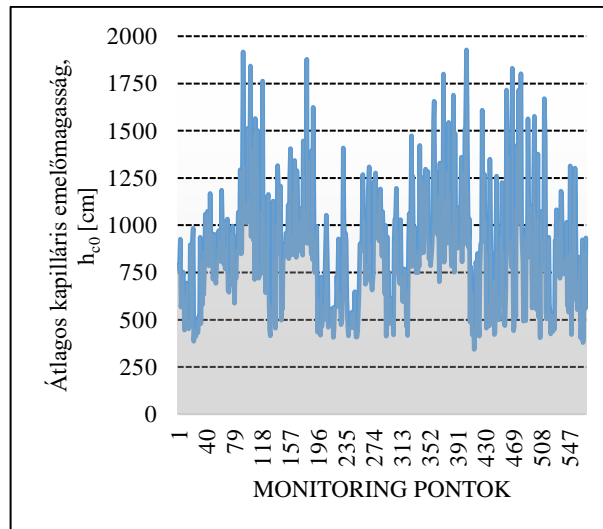


9. ábra. MK\* kalibrációja alapján a van Genuchten függvényhez illeszkedés minősége az  $a_0$  (13) egyenlettel történő közelítésével.  
 a) balra  $R^2$  érték, b) jobbra RMSE érték  
 Figure 9. Based on MK\*'s calibration, the quality of the fit to the van Genuchten function by approximating  $a_0$  with equation (13). a)  $R^2$  value to the left, b) RMSE value to the right

Az MK\* paraméterszám redukálásának hatását az MK közelítés 3 paraméteres kalibrációjával összevetésben a 3. táblázat mutatja. Mint látható, az RMSE növekedése az MK 3 paraméteres kalibrációjához képest átlagosan 3%-os, ami nem jelentős.

3. táblázat. Statisztikai mutatók átlagértékei MK-vG és MK\*-vG függvények összehasonlítására  
 Table 3. Average values of statistical indicators for the comparison of MK-vG and MK\*-vG functions

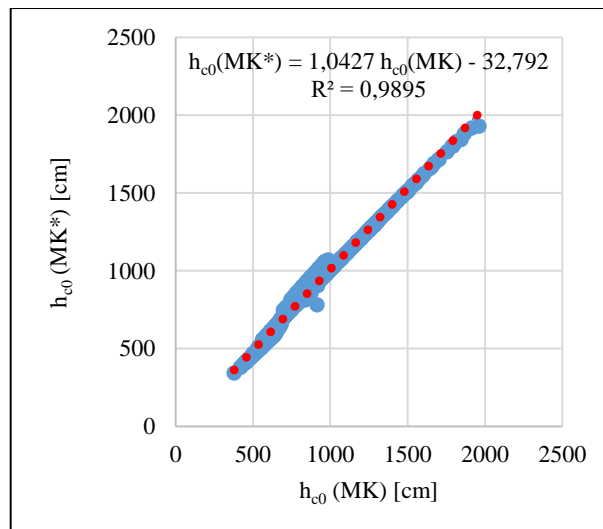
átlagok	MK-vG	MK*-vG
RMSE	0,014539	0,0150302
$R^2$	0,958002	0,9570389



10. ábra. Az MK\* függvény kalibrált átlagos kapilláris emelőmagasság értékei az egyes monitoring kutaknál  
 Figure 10. Values of the calibrated equivalent capillary rise height of the MK\* function for the investigated monitoring wells

Az MK\* függvény kalibrált  $h_{c0}$  paramétereit monitoring pontonként a 10. ábra mutatja. Ha összevetjük a 6. ábrán szereplő MK függvény kalibrált  $h_{c0}$  paraméterekkel, látható, hogy közel azonosak, az egyezés jó. Az MK és MK\* függvényekkel való közelítés során nyert  $h_{c0}$  értékek között erős lineáris kapcsolat figyelhető meg, melyet az összes monitoring ponthoz kapcsolódó eredmény alapján

a 11. ábrán mutatunk be. A diagramon feltüntettük a kapcsolatot leíró egyenes egyenletét is, melyen látható, hogy a meredekség 1,0427, mely közel áll a tökéletes kapcsolatot leíró 1,0 értékhez. Ezt mutatja a korreláció négyzet  $R^2 = 0,9895$  értéke is. Az egyenletből leolvasható, hogy az MK\* átlagosan nagyjából 32,8 cm-rel kisebb  $h_{c0}$  értéket számít MK függvényhez képest.



11. ábra. Az (MK\*) és (MK) függvény közelítések során nyert  $h_{c0}$  [cm] értékek kapcsolata  
 Figure 11. Relationship of  $h_{c0}$  [cm] values obtained of (MK\*) and (MK) function approximations

#### Ellenőrzés mért adatok alapján

Az EUSHG feltételezett hibájának – azaz bizonyos talajtípusok térképi hiányának – a bizonyítására felhasználtuk a talajvízszint monitoring kutaknál rendelkezésre álló közvetlen, mérésen alapuló megfigyeléseket (OVÉER). Rendelkezésünkre álltak a megfigyelési pontokon a kutak eredeti talajfizikai fűrasmintái (VITUKI). Az adatbázisokból kinyerhető adatok, amelyek szükségesek a számításokhoz:

- A szemeloszlási görbe alapján a  $d_{10}$ , szitán áthullott 10 tömegszázalékhoz tartozó névleges átmérő [cm].
- A  $d_{60}$ , szitán áthullott 60 tömegszázalékhoz tartozó névleges átmérő [cm].

- A  $C_U$  egyenlőtlenségi mutató [-] ( $C_U = d_{60}/d_{10}$ ).
- Az  $\varepsilon$  porozitás értéke.

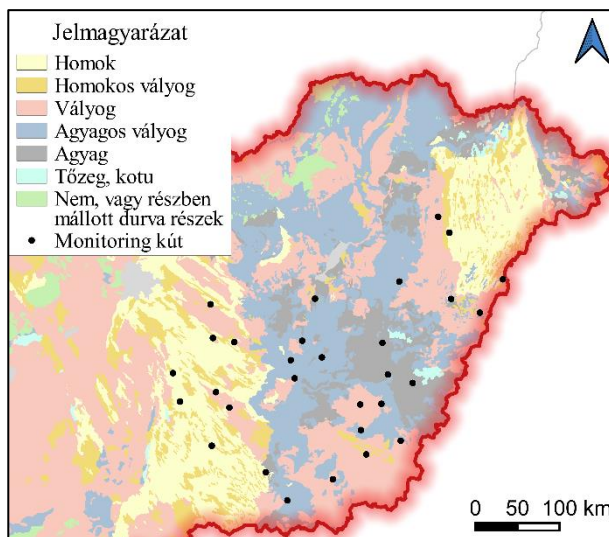
Kovács (1981) alapján, a  $C_U$  érték ismeretében  $d_h/d_{10}$  arány interpolációval előállítható (becsülhető), majd második lépésben  $d_{10}$  értéket ismerve  $d_h$  hatékony szemátmérő is számítható. A  $d_h/d_{10}$  arányokat a 4. táblázatban foglaljuk össze. Ha az egyenlőtlenségi mutató értéke 1,00 alatt van, akkor a talaj egyszemcsésnek tekinthető, rosszul osztályozott. 5,00 alatt még folyósodásra hajlamosnak tekinthető. Minél magasabb az érték annál jobb a szemcsék eloszlása.

4. táblázat. Az egyenlőtlenségi mutató és a  $d_h/d_{10}$  arány kapcsolata Kovács (1981) alapján  
 Table 4. The relationship between the uniformity coefficient and the  $d_h/d_{10}$  ratio based on Kovács (1981).

$C_U$	1,00	1,50	2,00	3,00	5,00	10,00	15,00	20,00
$d_h/d_{10}$	1,00	1,30	1,59	1,95	1,92	2,25	2,25	2,25

Véletlenszerűen kiválasztottunk 30 észlelő állomást (12. ábra) az OVÉER adatbázisból, amelyekre elérhető

volt a szemeloszlási görbe (illetve annak nevezetes pl.  $d_{10}$  és  $d_{60}$  értékei) a VITUKI adatbázisból.



12. ábra. Az összehasonlító elemzés monitoring pontjai, amelynek eredeti fúrési adatait felhasználtuk.  
 Alaptérkép: AGROTOPO (MTA TAKI 1991)

Figure 12. The monitoring points of the comparative analysis, whose original drilling data were used.  
 Base map: AGROTOPO (MTA TAKI 1991).

Ezután a (4) egyenlet segítségével meghatároztuk a szemeloszlási görbék információi alapján nyerhető  $h_{c0}$  paraméter értéket a (9) egyenletben bemutatott

módosított Kovács-féle retenciós görbéhez. Az eredményt a vizsgált monitoring pontokban a 5. táblázat mutatja be.

5. táblázat. A szemeloszlási görbék alapján meghatározott  $h_{c0}$  paraméter a kiválasztott monitoring pontokban  
 Table 5. The  $h_{c0}$  parameter determined on the basis of the grain size distribution curves in the selected monitoring points

Kút kód	$d_{10}$ [mm]	$C_U$ [-]	$d_h/d_{10}$ [-]	$d_h$ [cm]	$\varepsilon$ [-]	$h_{c0, ADAT}$ [cm]
2608	0,056	2,50	1,79	0,0100	0,42	102,0
2793	0,007	8,30	2,25	0,0016	0,44	605,0
2124	0,002	10,00	2,25	0,0005	0,45	2 029,0
2176	0,055	3,10	1,95	0,0107	0,44	91,0
2826	0,005	8,70	2,25	0,0010	0,41	1 056,0
2648	0,010	5,50	2,20	0,0022	0,41	491,0
2073	0,001	75,00	2,25	0,0002	0,45	4 068,0
2810	0,003	12,10	2,25	0,0007	0,47	1 320,0
2771	0,001	12,90	2,25	0,0002	0,43	5 230,0
2638	0,002	5,00	1,92	0,0004	0,41	2 902,0
2626	0,002	6,10	2,20	0,0004	0,42	2 615,0
2357	0,080	2,12	1,75	0,0140	0,42	74,0
2365	0,088	1,92	1,40	0,0123	0,44	77,0
1124	0,077	1,82	1,35	0,0104	0,44	91,8
2581	0,006	14,50	2,25	0,0012	0,44	771,0
2645	0,003	12,00	2,20	0,0006	0,40	2 076,0
2103	0,002	10,80	2,25	0,0005	0,42	1 918,0
1384	0,110	2,00	1,59	0,0175	0,45	52,0

Kút kód	$d_{10}$ [mm]	$C_U$ [-]	$d_h/d_{10}$ [-]	$d_h$ [cm]	$\varepsilon$ [-]	$h_{c0, ADAT}$ [cm]
2484	0,003	10,90	2,25	0,0008	0,45	1 195,0
1361	0,100	2,10	1,60	0,0160	0,44	61,0
2784	0,007	2,30	1,60	0,0010	0,44	917,8
2355	0,016	8,10	2,25	0,0036	0,44	265,2
2184	0,008	22,60	2,25	0,0017	0,41	628,0
2133	0,003	7,06	2,25	0,0008	0,44	1 247,8
2314	0,014	22,40	2,25	0,0032	0,42	328,8
2790	0,002	3,00	1,95	0,0004	0,44	2 447,6
2796	0,004	17,90	2,25	0,0009	0,45	1 044,6
2326	0,003	20,80	2,25	0,0006	0,44	1 631,7
2412	0,095	1,08	1,00	0,0095	0,40	118,4
2123	0,003	24,00	2,25	0,0006	0,44	1 697,0

A (12) összefüggés minimalizálásával nyert kalibrált MK paramétereket a teljes adatbázisra végrehajtott opti-

malizációból kigyűjtöttük, és a vG görbe paramétereivel együtt a 6. táblázatban mutatjuk be.

6. táblázat. Az EUSHG adatbázis vG paramétereit és a vG típusú görbére optimalizált MK függvény paramétereit az összehasonlító elemzésben

Table 6. The vG parameters of the EUSHG database and the parameters of the MK function optimized for the vG type water retention curve in the comparative analysis

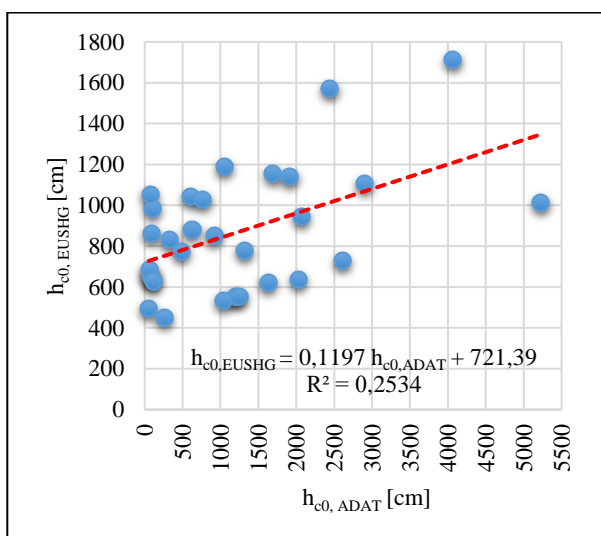
Kút kód	EUSHG vG paraméterek				EUSHG alapján kalibrált MK paraméterek	
	$S_{0,vG}$ [-]	$\alpha_{vG}$ [cm <sup>-1</sup> ]	$n_{vG}$ [-]	$\varepsilon$ [-]	$h_{c0, EUSHG}$ [cm]	$a_0$ [-]
2608	0,092	0,020	1,255	0,42	984,0	0,756
2793	0,088	0,019	12,424	0,44	1 043,0	0,770
2124	0,094	0,033	13,406	0,45	636,0	0,759
2176	0,089	0,023	12,816	0,44	863,0	0,750
2826	0,095	0,015	12,293	0,41	1 189,0	0,769
2648	0,095	0,025	12,946	0,41	772,0	0,738
2073	0,087	0,013	11,842	0,45	1 714,0	0,880
2810	0,091	0,026	13,159	0,47	779,0	0,746
2771	0,091	0,020	1,25	0,43	1 011,0	0,769
2638	0,094	0,018	12,345	0,41	1 106,0	0,781
2626	0,093	0,027	12,939	0,42	726,0	0,740
2357	0,092	0,020	1,255	0,42	1 052,0	0,780
2365	0,095	0,033	13,319	0,45	654,8	0,780
1124	0,095	0,032	13,362	0,45	643,4	0,760
2581	0,090	0,020	1,27	0,44	1 025,5	0,780
2645	0,098	0,021	12,608	0,40	946,3	0,770
2103	0,091	0,020	12,414	0,43	1 141,8	0,810
1384	0,094	0,042	13,787	0,45	494,4	0,780
2484	0,095	0,039	13,563	0,45	554,4	0,780
1361	0,090	0,030	1,32	0,44	682,2	0,770
2784	0,091	0,022	12,994	0,44	850,6	0,740
2355	0,095	0,054	13,823	0,45	448,0	0,810
2184	0,094	0,021	12,839	0,41	878,2	0,740
2133	0,095	0,038	13,562	0,45	554,6	0,780



Kút kód	EUSHG vG paraméterek				EUSHG alapján kalibrált MK paraméterek	
	$S_{0,vG}$ [-]	$\alpha_{vG}$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	$n_{vG}$ [-]	$\varepsilon$ [-]	$h_{c0, EUSHG}$ [cm]	$a_0$ [-]
2314	0,092	0,025	12,886	0,42	829,4	0,760
2790	0,089	0,014	12,039	0,44	1 573,0	0,850
2796	0,094	0,042	1,361	0,45	533,3	0,790
2326	0,094	0,036	13,357	0,45	621,8	0,790
2412	0,096	0,037	1,313	0,40	628,4	0,790
2123	0,087	0,019	12,481	0,45	1 154,9	0,810

Látható, hogy a korrelációs kapcsolat nagyon alacsony ( $R^2 = 0,25$ ) az EUSHG adatbázis alapján és a mért értékek alapján meghatározott  $h_{c0}$  értékek között (13. ábra). A két paraméter eltérő jellegét az okozza, hogy az EUSHG retenciós függvény esetében a homok-tartomány gyakorlati-

lag hiányzik, pedig a térségi adatbázisok, mint az AGRO-TOPO (1. és 12. ábra alaptérkép) ilyen jeleznek, továbbá a fúrési adatok is ezt támasztják alá. Itt tehát az adatbázis további finomítása szükséges. Erre a fenti algoritmus, mint pedotranszfer függvény alkalmasnak látszik.



13. ábra. A mért értékekből számított átlagos kapillaris emelőmagasság ( $h_{c0, ADAT}$  [cm]) és az EUSHG adatbázis vG retenciós görbe paramétereire kalibrált MK közelítések során nyert  $h_{c0, EUSHG}$  [cm] értékek kapcsolata

Figure 13. The relationship between the equivalent capillary rise height calculated from the measured values ( $h_{c0, ADAT}$  [cm]) and the  $h_{c0, EUSHG}$  [cm] values obtained during MK approximations calibrated to the vG retention curve parameters of the EUSHG database

## ÖSSZEFOGLALÁS

A Kovács-féle, elméleti alapon levezetett talajnedvesség (K) retenciós görbe továbbfejlesztését céloztuk meg. E függvény ugyan fizikai paraméterekkel (porozitás, átlagos kapillaris emelőmagasság) rendelkezik, de általánosságban felrótt hibája, hogy az alacsony szívási potenciál értékek mellett a talaj telítettséget jelentősen túlbecsüli. A görbe javítását a szívási potenciál korrigálásával oldottuk meg, ahol a korrekció a potenciál lineáris transzformációjához vezetett. A változtatás egy új korrekciós paraméter bevezetését is jelenti egyben. Így a módosított Kovács-féle (MK) retenciós függvény három paraméteres. Elemeztük, hogy az új függvény mennyire képes hasonló eredményt produkálni, mint a széles körben elterjedt van Genuchten-féle (vG) retenciós függvény. Az elemzésünket az EUSHG adatbázis mintegy 600 talajvízszint vizsgáló monitoring kútjánál letöltött vG paramétereken végeztük. E monitoring pontokban a pF 0- 4,2 szívási potenciál tartományban (500 függvénypontra) kiszámítva a vG görbe telítettség értékeit, kalibráltuk az MK függvény-közelítés paramétereit.

A kalibrációt 7 talajrétegben ismételtük meg. Átlagolva az összes pont eredményét, azt látható, hogy az MK függvény az RMSE vonatkozásában 4,3-szer jobb eredményt ad, alapvetően az alacsony pF tartományban jelentkező hiba kiküszöbölésével, mint az eredeti K függvény. A telítettség vonatkozó RMSE érték átlaga 0,014, ami gyakorlatilag a van Genuchten függvényvel ekvivalens leírást jelent. Vizsgáltuk az új korrekciós paraméter eliminálhatóságát a modelltől. Kifejezve értékét az átlagos kapillaris emelőmagasság ( $h_{c0}$ ) polinomiális függvényében, a vG függvényhez való hasonlóságot mérő átlagos RMSE elhanyagolható mértékben romlott. Így a van Genuchten-féle retenciós függvényt közelítő, jól értelmezhető fizikai tartalommal rendelkező leírást nyertük a talajnedvesség retenciónak. Ez a képessége az MK függvénynek alkalmas arra, hogy pedotranszfer függvényként használjuk. Az EUSHG adatbázis, és a monitoring pontok furatmintái szemeloszlási adatainak felhasználásával bemutattuk ennek algoritmusát is, egyben az EUSHG javítására vonatkozó javaslatot is megfogalmaztunk.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A TKP-6-6/PALY-2021 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg. A közleményben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg. Ez úton is köszönjük az Országos Vízügyi Főigazgatóságnak, hogy elérhetővé tette számunkra a talajvíz monitoring kutak adatbázisát.

## IRODALOMJEGYZÉK

*Aubertin, M., Mbonimpa, M., Bussière, B., Chapuis, R.P. (2003).* A model to predict the water retention curve from basic geotechnical properties. *Canadian Geotechnical Journal*. 40(6). pp. 1104-1122.

<https://doi.org/10.1139/t03-054>

*Darcy, H. (1856).* Les Fontaines publiques de la ville de Dijon: Paris, Victor Dalmont, p. 647. plus 28 plates.

*Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G.B.M., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A. (2017).* SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE* 12(2): e0169748. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>

*Koncsos L., Schütz, E., Windau, U. (1995).* Application of a comprehensive decision support system for the water quality management of the river Ruhr, Germany. In: Simonovic, S.P., Kundzewicz, Z., and Rosbjerg D. (ed.) *Modelling and Management of Sustainable Basin-Scale Water Resources Systems*. ISBN 0-947571-59-0. Wallingford, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland. IAHS Press (1995) p. 434. pp. 97-106.

*Kovács Gy. (1968).* Characterization of Molecular Forces Influencing Seepage by Means of the pF Curve. *Agrokémia és talajtan*, 17 (sup). pp. 1-12.

*Kovács Gy. (1981).* Seepage Hydraulics. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam; Oxford, New York. p. 730.

*Mbonimpa, M., Aubertin, M., Bussière, B. (2006).* Predicting the unsaturated hydraulic conductivity of granular soils from basic geotechnical properties using the modified Kovács (MK) model and statistical models. *Canadian Geotechnical Journal*. 43(8). pp. 773-787.

<https://doi.org/10.1139/t06-044>

*Monod, J. (1949).* The growth of bacterial cultures. *Annual Review of Microbiology*. 3. pp. 371-394. <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.03.100149.002103>

*MTA TAKI (1991).* Magyarország Agrotopográfiai Adatbázisa. Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. Budapest.

*Pásztor L., Laborczi A., Szatmári G., Takács K., Illés G., Szabó J. (2017).* Mi várható a megújult hazai talaj téradat infrastruktúráról? In: Balázs B. (ed.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VIII*. ISBN 978-963-318-638-1. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. [http://giskonferencia.unideb.hu/arch/GIS\\_Konf\\_kotet\\_2017.pdf](http://giskonferencia.unideb.hu/arch/GIS_Konf_kotet_2017.pdf). pp. 277-285. Letöltve: 2023.08.17.

*Richards, L.A. (1931).* Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Journal of Applied Physics*. 1 (5). pp. 318-333. <https://doi.org/10.1063/1.1745010>

*Too, V., Omuto, C., Biamah, E., Obiero, J. (2014).* Review of Soil Water Retention Characteristic (SWRC) Models between Saturation and Oven Dryness. *Open Journal of Modern Hydrology*, 4. pp. 173-182. doi: <https://doi.org/10.4236/ojmh.2014.44017>

*Tóth B., Weynants, M., Nemes A., Makó A., Bilas G., Tóth G. (2015).* New generation of hydraulic pedotransfer functions for Europe. *Eur J Soil Sci*, 66. pp. 226-238. <https://doi.org/10.1111/ejss.12192>

*Tóth B., Weynants, M., Pásztor L., Hengl, T. (2017).* 3D Soil Hydraulic Database of Europe at 250 m resolution. *Hydrol. Process*. <https://doi.org/10.1002/hyp.11203>

*van Genuchten, M.T. (1980).* A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44. pp. 892-898. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

*Várallyay Gy., Szócs L., Murányi A., Rajkai K., Zilahy P. (1979).* Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100.000 méretarányú térképe I. *Agrokémia és Talajtan* 28. pp. 363-384. ISSN 0002-1873

*Várallyay Gy., Szócs L., Murányi A., Rajkai K., Zilahy P. (1980).* Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100.000 méretarányú térképe II. *Agrokémia és Talajtan* 29. pp. 35-76. ISSN 0002-1873

## A SZERZŐK



**KONCSOS LÁSZLÓ** egyetemi tanár, a BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék korábbi vezetője. 1981-ben szerzett építőmérnöki diplomát, 1989-ben egyetemi doktori címet, 1997-ben PhD fokozatot és 2009-ben habilitált. Kutatási területei: hidrológiai, hidrodinamikai és vízminőségi folyamatok – utóbbin belül pedig különösen a nem-pontszerű szennyezések – modellezése; döntéstámogató rendszerek és optimalizációs módszerek fejlesztése, valamint légszennyezések transzmissziója. Tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak és a Nemzetközi Vízszővetségnek (International Water Association).



**MURÁNYI GÁBOR** okleveles infrastruktúra-építőmérnök, MSc diplomáját 2019-ben a BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszéken szerezte. Jelenleg a Vízi Közmű és Környezetmérnöki tanszék negyedéves doktorandusz hallgatója. Kutatási témája az alternatív árvízvédelmi megoldások stratégiai lehetőségeinek tudományos megalapozása. A Magyar Hidrológiai Társaság és a Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség, valamint a BME Zielinski Szilárd Építőmérnöki Szakkollégium Vízépítő Tagozatának senior tagja.

## Az újjászülető Szigetköz

Jakus György<sup>1</sup>, Kertész József<sup>2</sup>, Mohácsiné Simon Gabriella<sup>2</sup>, Pannonhalmi Miklós<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Országos Vízügyi Főigazgatóság (e-mail: jakus.gyorgy@ovf.hu)

<sup>2</sup> Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság

DOI: 10.59258/hk.14994



### Kivonat

A mai Magyarország területének negyedén a vízpótlás és a vízáteremtés teremti meg az emberi területhasználatok és a természeti értékek megőrzéséhez, újrateremtéséhez szükséges feltételeket. A Szigetközben történt beavatkozások igazolják, hogy vízpótlásokkal a kialakult vízgazdálkodási problémákat meg lehet oldani és így természeti környezet újrateremtése megvalósítható. Az érintett területekre juttatott megfelelő hozamú és minőségű víz gravitációs elvezetése és a szabályozhatóság megteremtése képes a szükséges vízállapotokat előállítani és egy térségi revitalizációt megvalósítani. A Szap alatti szakaszon a folyómeder süllyedésének problémája egy megoldásra váró, nagyon komoly szakmai feladat, amely Magyarország és Szlovákia együttműködését igényli. Itt csak egy Dunai alsó vízlépcső (Nagymaros vagy Pilismarót) duzzasztása lehet a megoldás.

### Kulcsszavak

Szigetköz, Duna, Mosoni-Duna, hullámtér, Bős-Nagymarosi Vízlépcsőrendszer, gravitációs vízpótlás, vízpótló-rendszer, mellékág-rendszerek, revitalizáció, fenékküszöb.

## The rebirthing Szigetköz (Hungary)

### Abstract

In a quarter of the territory of today's Hungary, water supplement and water relocation create the necessary conditions for preserving and re-creating human land uses and natural values. The interventions, that took place on the Szigetköz prove that water relocation can be used to solve the water management problems and thus, the natural environment can be rebirthed. The gravity draining of water of suitable yield and quality delivered to the affected areas and the creation of controllability can produce the necessary water conditions and realize a regional revitalization. The incision problem of the riverbed in the section below Szap is a very serious professional task to be solved, that requires the cooperation of Hungary and Slovakia. According to current knowledge, the only solution here would be the implementation of a barrage on the Lower Danube (Nagymaros or Pilismarót).

### Keywords

Szigetköz, Danube, Mosoni-Danube, foreshore, Gabčíkovo-Nagymaros Water Barrage Scheme, gravity water supplement, water supplement scheme, tributary systems, revitalization, bottom threshold.

### BEVEZETÉS

Szigetköz Európa legnagyobb hordalékkúpján, Magyarországon északnyugati részén, a Kisalföldet északról határolva helyezkedik el. A Győri medencének a Duna és a Mosoni-Duna által határolt kistája. Területe: 375 km<sup>2</sup>, hossza 52,5 km, szélessége átlagosan 6-8 km. A lejtési viszonyok alapján két részre – Felső- és Alsó-Szigetközre – osztható fel. Tengerszint feletti magassága 110 m-től 125 m-ig változik. A megnevezés találon jellemzi fizikai, földrajzi arculatát, hiszen egész területe mozaikszerűen folyómedrek, erek, holtágak szabdalta szigetekből tevődik össze.

A Duna elterelése után kiépített vízpótlási rendszerek üzeme 30 éves tapasztalattal rendelkezik. Az így szerzett tudás, valamint a működést folyamatosan figyelő monitoring elemek adatai alapján egyértelműen rögzíthető, hogy:

- A vízpótlások át tudták venni a Duna térségi vízjárásra gyakorolt szabályozó szerepét. A mellékágak és a mentett oldali vízpótlások szabályozott módon egy korábbi természetes állapotot szimulálnak, így a teljes Szigetközben – kivéve a Duna régi főmedre – az 50-es évekre jellemző vízviszonyok állnak elő. Vizes élőhelyek sokaságának rehabilitálása valósult meg, új kiemelkedő értékű vizes élőhelyek gazdagítják a Szigetköz világát. A terület kiemelt természetvédelmi területi értékekkel rendelkezik.

- A vízpótlások tapasztalata, hogy kis vízmennyiséggel és tudatos – talajfelszínhez igazodó – lépcsőzéssel a korábbi természetes állapot helyreállítható és szabályozottan működtethető.

- Bár a vízpótló-rendszerek és a torkolati mű létrehozásának elsődleges célja a mentett oldali és a hullámtéri ágrendszerek rehabilitációja volt, ám pozitív hatást tapasztaltunk a talajvíz állapotának alakulásában is. A művek a kisvízi dunai vízállapotok idején is magasabban tartják a talajvízszinteket, valamint szerepük van a talajvízszint ingadozás mérséklésében és jelentős mértékben hozzájárulnak a talajvízkészlet Szigetközben tartásához (ÉDUVIZIG 2023).

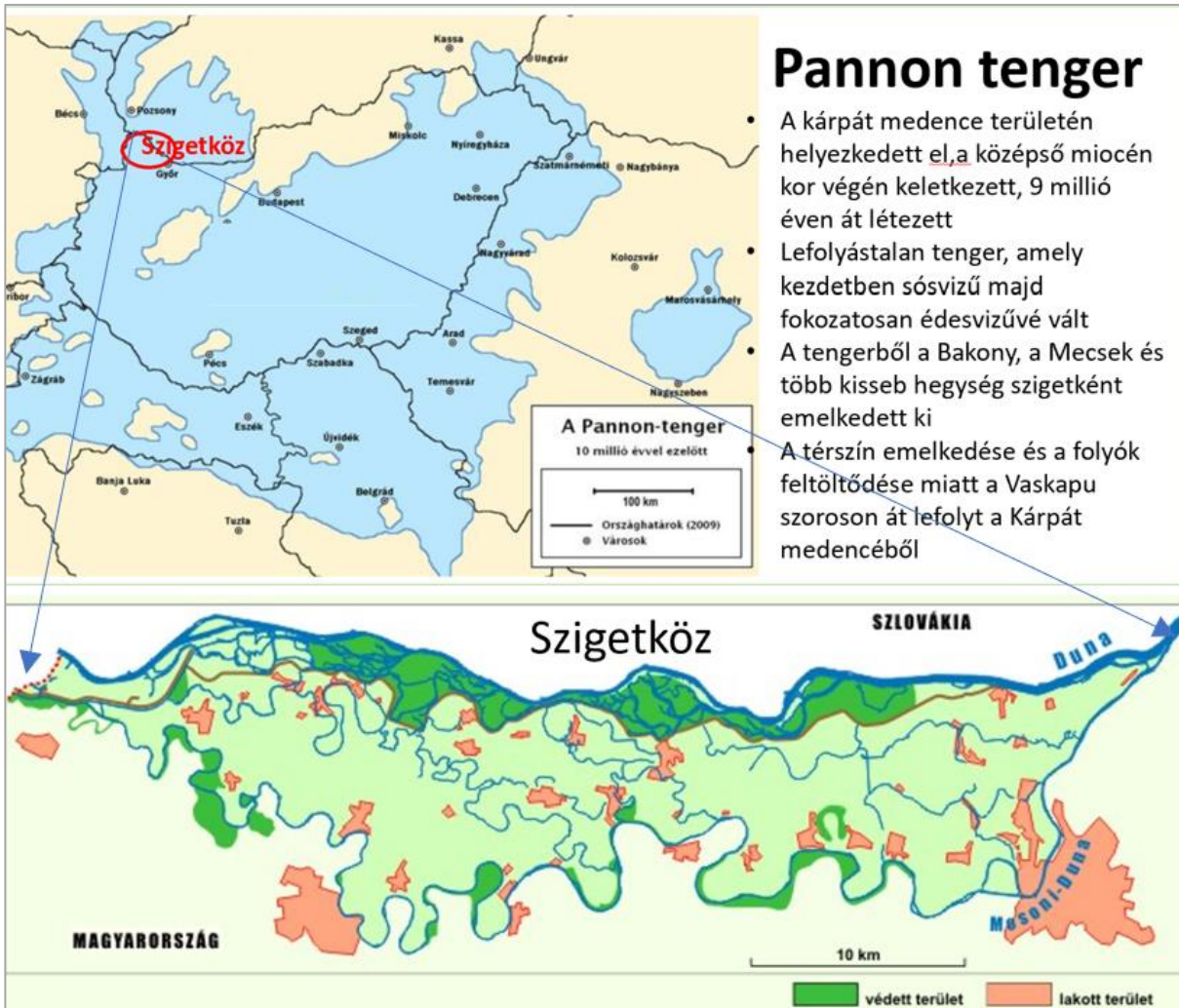
A közlemény a Szigetköz történetén és környezeti állapotának változásán keresztül mutatja be azt az egész vízrendszerre kiterjedő példaértékű revitalizációt, mely világorökség szintű mozaikos vizes élőhely rendszereket teremtett, jó például szolgálva a pusztuló Gemenc számára is.

### SZIGETKÖZ TÖRTÉNETE

A Szigetköz kialakulása a földtörténeti múltban 2,5-3 millió évvel ezelőtt, a harmad- és a negyedkor határánál kezdődött. Ekkor zúdult le a Pannon tenger elhagyott medencéjébe az Ós-Duna roppant víztömege (<https://hu.wikipedia.org/wiki/Szigetköz>). A síkságon szétterülő víz nem

tudta hordalékát tovább hurcolni, így egy részét lerakta, szigeteket, zátonyokat épített és közöttük ezernyi ágra szakadva folyt tovább. Az évmilliók során egy hatalmas – főként homokból és kavicsból álló – hordalékkúp

keletkezett, melynek vastagsága Lipót térségében a 400 m-t is meghaladja. Ennek a közepén fekszik a Nagy-Duna és a Mosoni-Duna határolta nagy sziget a Szigetköz (1. ábra).



1. ábra. Szigetközi táj (Digitális Képtár 2023, [http://www.szigetkoz.biz/honlap/bevezetes\\_tk.htm](http://www.szigetkoz.biz/honlap/bevezetes_tk.htm))  
Figure 1. Szigetköz landscape (Digitális Képtár 2023, [http://www.szigetkoz.biz/honlap/bevezetes\\_tk.htm](http://www.szigetkoz.biz/honlap/bevezetes_tk.htm))

A homokos kavicsrétegek felett átlagosan 1,5 m vastagságú igen nagy termőképességű fedőréteg található. Itt ősidóktól kezdve minden a víztől függött, a „nagy folyó”, a Duna épített és rombolt, éltetett és pusztított. Az ember korán letelepedett a vízben és vadban gazdag területen, mely a megélhetés mellett védelmet is nyújtott a kóborló hadakkal szemben. Kialakultak a tájhoz és az élővilághoz kapcsolódó ősi mesterségek, létrejött egy évszázadokig létező, ezernyi szállal összefonódó harmonikus kapcsolat az ember és a természet között.

A gyakori áradások, a mederváltozások és a partszaggatások állandó veszedelemet jelentettek az itt élők számára. Kezdeti fogva tartott a változó sikerrel zajló küzdelem a Duna és az ember között. A partvédő vesszőfonások és a kőhányások, valamint a falvakat védő töltések csökkentették ugyan az árvizek pusztítását, de a nagy áradások ellen nem nyújtottak biztonságot. A „nagy folyó” a 19. század végén szenvedte el első igazán súlyos vereségét egy, a térséget alapvetően megváltoztató emberi beavatkozás következményeként. Az 1886-1896 között elvégzett

folyamszabályozási és ármentesítő munkálatok során kialakult az árvizek kárai ellen védő egységes töltésrendszer, valamint a kőhányásokkal biztosított parti főmeder. A jelentős emberi beavatkozást jelentő munkálatok ezt a tájat két részre, vízjárta területre és mentett területre osztották. Az árvízvédelmi töltések kiépítésével a településeket az árvizek már nem önthették el, viszont a beszűkített mederben magasabb vízállások alakultak ki, így a töltések között számtalan mellékág és sziget került előntésre. A töltéseken kívülre került mellékágakból holtágak lettek, melyek egy része napjainkra már feltöltődött. Megváltozott a Szigetköz, vagyis kialakult az áradásoktól védett úgynevezett mentett oldal, ahol megtalálható az ország bármely síkvidéki területére jellemző mezőgazdasági kultúra, valamint a korábbi mellékágakból képződött holtágrendszer, vagyis az egykori medrek helyét jelző – fával, náddal benőtt – lápos területek.

A Szigetközben található települések között egy sincs, amelyet az idők során ne pusztított volna el áradás vagy partszaggatás, amelyek igen nagy károkat okoztak és

szinte évről évre megváltoztatták a Duna-ágak képét. Az ármentesítő munkák következtében a települések védelme ugyan megoldódott, de az árvízszintek emelkedése továbbra is veszélyt jelentett. Idővel, a már kiépített árvízvédelmi rendszer több esetben is elégtelennek bizonyult. Az árvízszint emelkedés következtében 1954-ben az árvízvédelmi töltések átszakadtak, Szigetköz nagy része víz alá került. 1965-ben a hosszantartó ár hatására hatalmas területek a töltés alatti átszivárgás következtében kerültek elöntés alá és a Csalóközi oldalon (Szlovákia) pedig gátszakadás következett be. A nagy árvizek levonulása során az altalajon keresztül átszivárgó nagy mennyiségű víz okozta elöntések is megjelentek. A nagy árvizeket (1956, 1965) követően megerősítették a gátakat, kiépült a fakadóvizet elvezető rendszer. Állami támogatással, társadalmi összefogással eltüntették a pusztító árvíz nyomait és a Szigetköz újjáépült.

A felszíni vízjáráshoz hasonlóan a vizek változásait követő felszín alatti vízmozgás is jelentősen befolyásolta a térségben élők életét. A felszín alatti intenzív vízmozgás oka az, hogy az altalajra jellemző pleisztocén homokos, kavicsos összlet lényegesen jobb vízvezető képességgel rendelkezik, mint a fekvését alkotó – homokos és agyagos rétegekből felépülő – felső-pannon üledékek. A pleisztocén kavicsos hordalék, mivel csak lencseszerű agyag betelepüléseket tartalmaz, hidraulikailag összefüggő rendszert alkot és nagy mennyiségű vizet tárol. Az összefüggő víz-záró réteg hiányában nem választható szét élesen a talajvíz és a rétegvíz. A kavicsos összletben található vízkészlet mintegy 30 m mélységig tekinthető talajvíznek, amire hatással vannak az időjárási viszonyok és ami közvetlen hidraulikai kapcsolatban áll a felszíni vízmozgásokkal.

A Szigetköz talajvízkészlete utánpótlódását részben a lehulló csapadékból, részben pedig a felszíni vízfolyásokból, főleg a Duna mederből a talajvíztartóba történő beszivárgásból kapta. Nagy mennyiségű víz érkezik felszín alatti áramlással a Duna felsőbb szakaszán beszivárgó vizekből, és részben a Parndorfi plató felől.

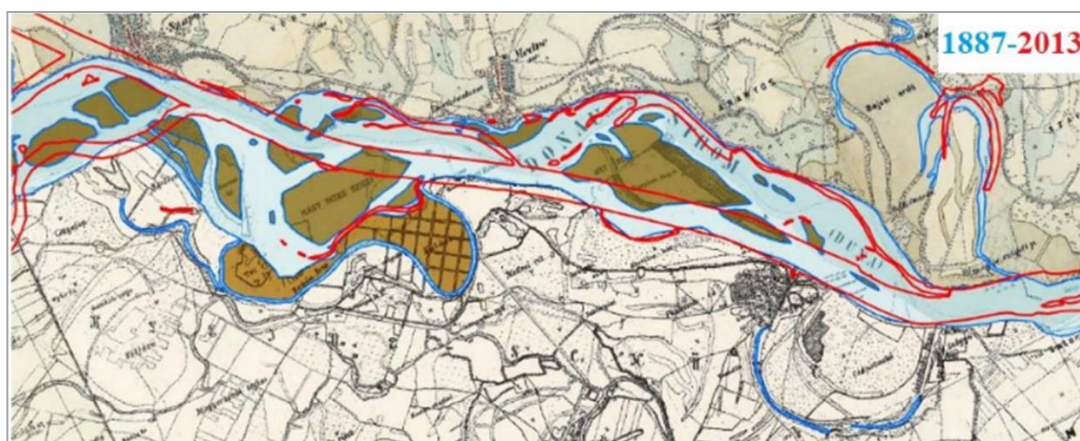
A talajvíz természetes áramlási iránya D-DK. Rajka-Bezenye-Hegyeshalom térségében az országhatár felől érkezik a felszín alatti áramlás. Fő iránya a Felső-Szigetköz felől az Alsó-Szigetköz felé mutat. A nagyvízes időszakokban viszont a Duna felől a Szigetköz felé áramlik a víz a teljes Duna szakaszon, míg a kisvízi dunai vízállapot esetén megfordul ez az áramlási irány és a Duna csapolja meg a talajvizet.

A Nagy-Duna medre és az árvízvédelmi töltés közötti mintegy 6 000 ha – az úgynevezett hullámtér – továbbra is közvetlenül a Duna vízjárása által befolyásolt terület maradt. Az egykori Szigetköz hangulatát tájképi karakterét itt találjuk meg, ahol még ma is ugyanúgy a víz az úr, mint a korábbi évezredek alatt. Az ősi táj az árvizektől mentesített területen csak néhány helyen – a Mosoni-Dunát kísérő keményfa ligetekben, a mocsarak és holtágak területén, a nedves réteken – maradt fenn.

### A DUNAI MELLÉKÁGAK ÁTALAKULÁSA

A térséget fenyegető árvizek elleni védelem jelentette az első nagy beavatkozást Szigetköz életébe. A 19. század végén azonban fontos tényezővé vált a Duna víziútként történő hasznosítása is. Az elvégzett folyamszabályozás során kőhányásokkal biztosított partú főmedret alakítottak ki. A mellékágak lezárásával megakadályozták a Dunán érkező vízhozamok szétterülését, így biztosítva a hajózás feltételeit. A folyamszabályozás lehetővé tette a mezőgazdasági fejlődést, így az állattartás mellett fokozódott a rendszeres talajművelés, növénytermesztés, kialakultak a sík területekre jellemző mezőgazdasági kultúrák.

A 19. századi szabályozások alapelve az volt, hogy a sok-sok egyforma nagyságú Dunaág közül kiválasztottak egyet és erre a mederre összpontosították a beavatkozásokat, a szabályozási munkákat. A szabályozáskor arra törekedtek, hogy ezen a széles hullámtéren (8-12 km) megfelelő módon lebonyolódhasson a hajózás, vagyis, hogy legyen egy olyan útvonal a hajók számára, amely megfelelő vízmélységet és szélességet biztosít (2. ábra).



2. ábra. Duna szabályozás előtt és után-összehasonlítás (Holubová és társai 2015)  
Figure 2. Comparison-before/after Danube regulation (Holubová et al. 2015)

Az emberi beavatkozások hatására a Duna felső szakaszról érkező görgetett hordalék jelentős része a kiépített főmederben maradt, csak viszonylag kis mennyiség kerülhetett a mellékágak rendszerébe. Az érkező hordalék, így évről-évre emelte a Duna főmedrének fenékszintjét.

A nagy volumenű felújítási munkák ellenére a feltöltődési folyamat nem szűnt meg, a zátonyvándorlás folytatódott, a hajózási viszonyok – a rendszeres nagymérvű gázlókotrás ellenére – nem javultak. Ezek a tapasztalatok arra késztették a Közös Műszaki Bizottságot, hogy a magyar-

országi Felső-Duna szabályozására (a Rajka-Gönyű közötti szakaszra) új elveket dolgozzanak ki, ami 1961-1963 között történt meg.

A Duna Bizottság Ajánlásában (*Duna Védelmi Egyezmény 1974*) szereplő 25 dm mély és 120 m széles hajóút kialakításának figyelembevételével a szabályozás fő alapelvei a következők voltak:

- a főbb vízvesztéseket minimálisra kell csökkenteni a mellékágak lezárásával és az egységes part kialakításával. A művek állékonysága érdekében a mellékág elzárásokat úgy kell kialakítani, hogy az egységes part szintjét meghaladó árhullámok a mellékágrendszereket kellő időben vízzel feltölthessék,
- rendezni kell a mellékágrendszereket vízszinttartó keresztgát sorozatok építésével,
- szűkíteni kell a középvízi medret úgy, hogy a megnövekvő hordalékmozgató erő lehetőleg folyamatosan biztosítsa az érkező hordalék továbbszállítását.

Az építést az érintett két ország – Magyarország és Csehszlovákia – az elfogadott irányelvek alapján egyeztetett feladatmegosztás és ütemterv szerint hajtotta végre. A Közös Műszaki Bizottság utódjaként 1979-ben létesült a határfolyó valamennyi vízügyi feladatait rendezni hivatott Magyar-Csehszlovák Határvízi Bizottság (HVB). A HVB állásfoglalásának megfelelően az általános szabályozási tervből megvalósításra került az 1816-1810 fkm közötti jobb parti Bagaméri mellékágrendszer rendezése, valamint a rajkai, a bösi, a kisbodaki és a nagybajesi gázlószakasz kisvízszabályozása. A szabályozási munkák 1985-ben fejeződtek be. Az érintett szakaszokon gyakorlatilag megszűntek a gázlók és a hajózási viszonyokban lényeges javulás következett be. A végrehajtott szabályozások célja a folyamatosan keletkező hajózási akadályok megszüntetése és a károkozás nélküli jegesár levezetése volt. A szabályozásnál alapvető célként azt is kitűzték, hogy a mederemelkedési tendencia, vagyis a Duna-szakasz állandó romlása megszűnjön. Az 50-es évekig bekövetkezett mederemelkedés hatása ma is jól kimutatható, hiszen a Duna főmedrének partjai magasabbak az árvízvédelmi töltések lábánál elhelyezkedő terepszinteknél. Az 50-es évektől megvalósuló tudatos szabályozási munkák hatására kialakult az egységes főmeder, illetve az a hajóút, amely képes a nemzetközi hajózás forgalmát lebonyolítani. A meder fenékszintjének emelkedése megszűnt.

Ugyanezen időszakban a Duna medréből Pozsony és Győr térségében jelentős mennyiségű kavicsanyagot termeltek ki az építőipar adalékellátása érdekében, valamint a keletkezett hajózási akadályok, gázlók megszüntetése miatt is kotrásokat kellett végzeni. Ezen időszakban az osztrák Duna szakaszon sorra épültek a vízlépcsők, melyek jelentős mértékben lecsökkentették a Duna medrében érkező görgött hordalék mennyiségét. A lecsökkent hordalékszállítás és a kotrások együttes hatása átfordította a korábbi mederemelkedési tendenciát és jelentős medermélyülés következett be, melynek hatására a kisvizek és a kö-

zépvizek felszínénél átlagosan 1-1,5 m vízszint csökkenés következett be. A különböző időszakokban előállt vízszintek süllyedő tendenciája a mellékágakra, a szigetekre, sőt az altalajon keresztül a Szigetköz egész térségére kiterjedt. A felszíni és a felszín alatti vizek szintjének csökkenése következtében egyre több mellékág került szárazra és számos holtágból eltűnt az éltető víz.

### VÍZVISZONYOK ALAPVETŐ VÁLTOZÁSA, A BÖSI VÍZLÉPCSŐ ÜZEMBE HELYEZÉSE (1992) UTÁNI IDŐSZAK

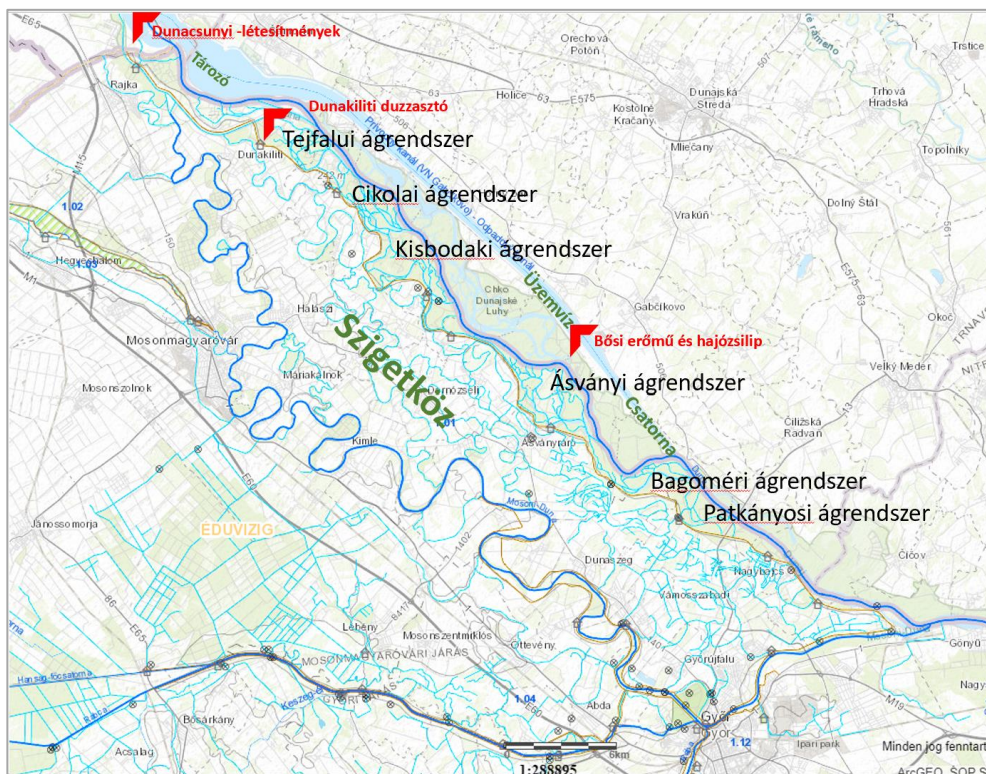
1977 évben Magyarország és Csehszlovákia szerződést kötött a Bős-Nagymarosi Vízlépcsőrendszer megépítésére, melyben a felső üzemvízcsatornás vízlépcső létesítményének elhelyezésével gazdasági és jogpolitikai egyensúlyt teremtettek volna a két ország, valamint a határfolyó Duna jövőjében. A Dunakiliti duzzasztó, mint a vízmegosztás főlétesítménye Magyarország területén épült volna fel, míg az üzemvízcsatorna és a Bösi vízerőmű és hajószilip Csehszlovák területen valósult volna meg (3. ábra). Pár hónappal a Bösi vízerőmű és hajószilip tervezett üzembe helyezése előtt 1989 évben Magyarország ökológiai szükséghelyzetre hivatkozva előbb felfüggesztette, majd teljesen leállította a Nagymarosi Vízlépcső és a gyakorlatilag kész Dunakiliti duzzasztó munkálatait. Szlovákia az üzembehelyezés érdekében, az eredménytelen tárgyalások után megépítette a Dunakiliti duzzasztót kiváltó saját duzzasztóművét Dunacsúny térségében, ezzel a vízkormányzás kulcsa teljesen Szlovák kézbe került. A rendszer felső elemének (Bösi vízlépcső) üzembe helyezése, vagyis a Duna elterelése 1992. október 25-én megtörtént.

#### Az egyoldalú Duna elterelés következményei

1992. október 25-én a csehszlovák építők magyar hozzájárulás nélkül Dunacsúnynál a Duna főmedrének elzárásával a szlovák területen épült üzemvízcsatornába terelték a Duna vizét. Az elterelés következtében a Duna Rajka országhatár szelvényében 2-2,5 m-es vízszint csökkenés következett be, mely az 1900-1992 közötti években észlelt legkisebb vízállásnál is (-61 cm) 2,09 m-rel alacsonyabb volt.

A vízhozam és ezzel együtt a vízállás drasztikus csökkenése miatt:

- Rajka Ásványráró közötti Duna szakaszon mintegy 80 km ágrendszerben (4000 ha vízfelület) a vizek eltűntek, mivel az ágrendszerek nyitottak voltak a Duna főmedre felé, így az esésviszonyoknak megfelelően az itt található víztömeg a főmeder felé eltávozott. Valamennyi ágrendszerben az ágak egyik óráról a másikra kiszáradtak, a vízi élőlények elpusztultak (1. kép),
- a főmeder rendkívül alacsony vízszintje és a kiürült, kiszáradt mellékágak miatt elindult a talajvíz erős áramlása a főmeder felé (kiürülési folyamat),
- a nagymértékű dunai leszívás hatására a mentett oldalon is elindult a kiürülési folyamat,
- az egyoldalú beavatkozás következményeként mind a felszíni vizek, mind pedig a talajvizek állapota szinte Szigetköz teljes területén megváltozott.



3. ábra. A Szigetköz és az egyoldalúan üzembe helyezett művek (Alaptérkép: OVF)  
 Figure 3. Szigetköz and the unilaterally commissioned works (Base map: OVF)



1. kép. A kiszáradt mellékág Cikolasziget térségében (Fotó: ÉDUVIZIG)  
 Photo 1. The dried-up branch in the Cikolasziget area (Photo by ÉDUVIZIG)

Korábban a Duna vízállásváltozásai határozták meg szinte az egész Szigetköz talajvizeinek állapotát. Az észlelő kutak vízszintjei jól követték a Duna vízjárását. Dunától távolabbi kutakban természetesen kicsit később jelent meg a nyomásváltozás, de lényegében a vízjárásuk jelle- gében azonos volt. Az elterelés után a Duna főmeder közelében levő kutak vízszintje erősen lesüllyedt (4. ábra). A Szigetköz belseje felé a Duna vízállásváltozásai már nem érvényesültek olyan meghatározó mértékben, azonban a kutak vízjárása, az áramlási irányok és a szivárgási sebes- ségek megváltoztak.

Bár a talajvíz áramlás fő iránya most is a Felső-Sziget- köz felől mutat az Alsó-Szigetköz felé, de az áramlási irány a korábbinál keletebbre fordul, a legtöbb szakaszon szinte párhuzamos a Dunával. A Dunából történő

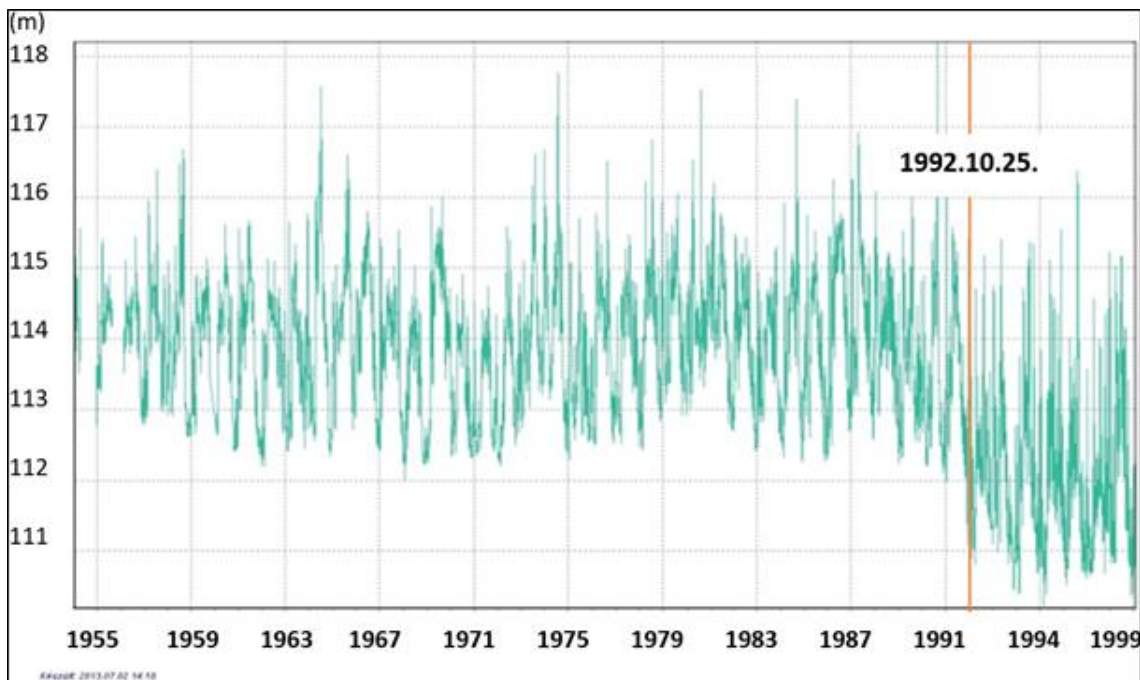
beszivárgásnak jelentős szerepe csak a Rajka-Dunakiliti közti és az Ásványráró-Szap közti szakasznak van. A Duna Dunakiliti és Ásványráró közti szakasza inkább befogadó jellegűvé vált. Az alsó-szigetközi Duna-szakasz (Nagybajcs-Szőgye) kisvízes dunai vízállapotban megcsa- poló, nagyvízkor betápláló (VIZIMOLNAR 2001). Tulaj- donképpen az év legnagyobb részében a Duna megcsa- polja a talajvizet:

- a talajvíz rohamos csökkenésének hatására nemcsak a főmederrel közvetlen kapcsolatban lévő ágak, hanem a teljes ágrendszer kiszáradt és elindult a mentett oldali holtágakon is a vízszintcsökkenés,
- korábban egy árhullám levonulásakor a Duna menti sávban emelkedtek meg a talajvízszintek és itt volt a leggyorsabb az apadás is. 1992 után az árhullámok

jelentős része az üzemvízcsatornán vonult le, így szinte már csak a Bős alatti szakaszon vált érezhetővé az árhullámok a talaj vízszintekre gyakorolt hatása,

- a dunai főmeder rendkívül gyors vízszintváltozásának következtében a művek kisebb mértékben rongálódtak, a rendkívül csekély vízmennyiség a középvízi meder töredékében helyezkedik el – a gázlós szakaszokon 3–5 dm vízmennyiséggel –, így e meder használhatatlan, állaga folyamatosan romló (medermélyülés, szárazulatok beerdősülés),
- az egyoldalúan megépített szlovák művek ("C" változat I. ütem) átvezető képessége üzemszerűen 250–400 m<sup>3</sup>/s, az elterelés időszakában 184 m<sup>3</sup>/s, így a Szigetközben kialakuló vízviszonyok ezen állapothoz igazodnak,

- a tartós kisvízi állapotot és a folyamatos talajvíz kiürülést csak az időszakonként kényszerből levezetett nagyobb vízhozamok változtatják meg időlegesen,
- a talajvíz kiürülése gyorsabb folyamat, mint a kiürült talajvíz test visszatöltése. A viszonylag könnyen visszapótolható kiürülés mértékét a VITUKI szakemberei 100 nap körüli időtartamban határozták meg (<http://www.szigetkoz.biz/valtozas/talajviz/main-page.htm>). A biológiai életfolyamatokra is körülbelül a 100 napos határértéket jelezték a kutatók, így a vegetációs időszak kezdetét jelölték meg, amely időszakig a bekövetkezett kár tűrhető,
- az elterelés a hullámtéren és a mentett oldalon is egy új vízgazdálkodási körülményt, ezzel együtt a korábbiaktól eltérő, szegényebb élővilág kezdeti kialakulását eredményezte (1. kép).



4. ábra. A Duna főmeder közelében levő „Ásványráró-110010” számú észlelő kút hosszú idejű vízszint időszora 1956-tól 2013-ig. Az 1992. évi eltereléskor több méter süllyedés látható (Ficsor és Mohácsiné Simon 2013)

Figure 4. Long-term water level time series of monitoring well No. "Ásványráró-110010" near the Danube main bed (1956–2013). Several meters of decrease can be seen at 1992 diversion (Ficsor and Mohácsiné Simon 2013)

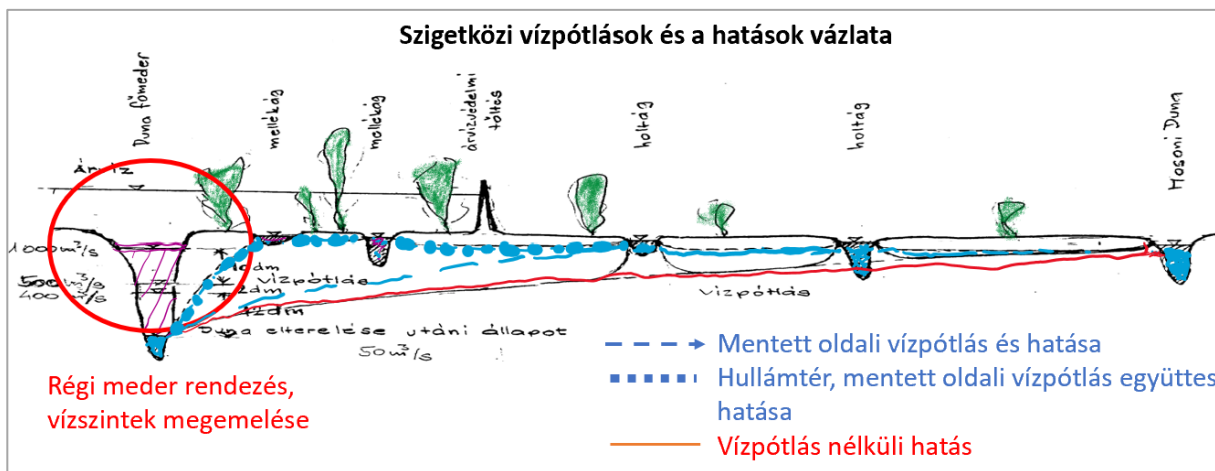
#### Az előre jelezhető károk mérséklésére tett intézkedések

A Szigetközben élők – vállalva a politikai ellenszélben munkálkodás következményeit – megismerve az üzembe helyezés előre látható kárait a megelőzés érdekében jelentős erőfeszítéseket tettek.

A helyi döntéshozók elfogadták az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (ÉDUVIZIG) javaslatát, melyekben a károk mértékének csökkentésére azonnali intézkedéseket javasoltak. A kármegelőzés alapvető lehetősége a vízhiányt kiküszöbölő sürgős vízpótlás. Előzetes tervek hiányában azonnali beavatkozásra került sor, mely a szlovák oldalról átszivárgott vizek, valamint a Mosoni-Duna számára átadott vízmennyiség megcsapolásával a helyi területhasználók hathatós segítése mellett 4 hónapon belül megindulhatott a Felső-Szigetköz mentett területén a vízpótlás. A tervezési munka igényfelméréssel kezdődött, melyben valamennyi szigetközi területhasználó

nyilatkozott, hogy a területén az év különböző időszakában milyen vízállások legyenek. Az eredmény lesújtó volt, mivel mindenki mást szeretett volna. A zsákutcából egy – véleményünk szerint – új korszakot nyitó gondolat született, ugyanis Dunai Ferenc, az ÉDUVIZIG tervezést irányító munkatársának javaslatára kiválasztásra került egy olyan időszak, mely még jó természeti (vízjárás) körülményt jelentett és még megfelelő adatok is rendelkezésre álltak. A gondolat azonosulva elindult a vízpótlások tervezése. Az 50-es évek időszaka lett kijelölve és ez alapján lehetett meghatározni, hogy melyik mellékágban, melyik holtágban vagy éppen a Mosoni-Dunán milyen vízszinteket, vízszintváltozások voltak. Az adatok alapján megindult a tervezés (5. ábra). A legnagyobb kérdés az volt, hogy a Duna főmedrében levonuló, az egész térség (Szigetköz, Csalóköz) vízállapotait határozó vízhozamok eltűnése után kialakult helyzetet képes-e a természetes állapotot szimuláló vízpótlás ellensúlyozni.





5. ábra. Vízpótlások és a következmények sémája (saját szerkesztés Jakus)  
 Figure 5. Scheme of water-supplement and consequences (Own edition Jakus)

**VÍZPÓTLÁSOK MEGVALÓSÍTÁSA**

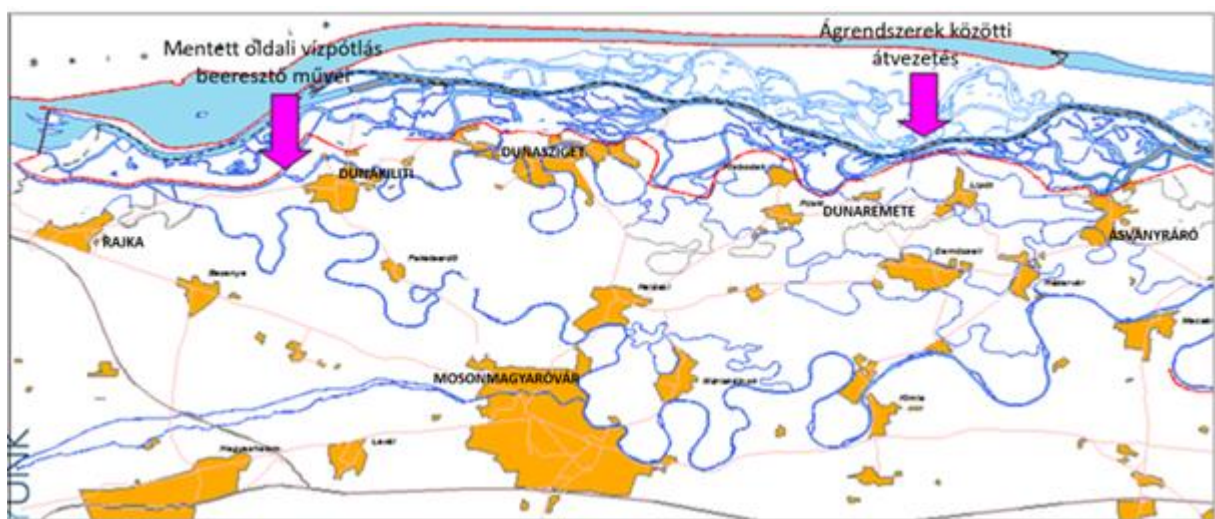
Az 1992. évi elterelés után a Duna folyamán a Dévény felől érkező víz jelentős része az Üzemvízcsatornában a Bósi vízlépcsőn keresztül folyik le. Az Öreg-Duna (Régi-Duna) főmedrébe átadott vízhozam töredéke a folyó természetes vízhozamának, így a Duna Rajka-Szap közötti szakaszán alapvetően megváltozott a folyam vízjárása. A főmederben kialakult alacsony vízszintek következtében a hullámtéri mellékágrendszerekben szélsőségesen alacsony vízszintek alakultak ki, illetve a medrek nagy része kiürült, kiszáradt. A víz a mellékágrendszerből – egyrészt közvetlenül a főmeder és a mellékágrendszer élő kapcsolatát biztosító torkolatokon keresztül, másrészt elszivároghva a folyamatosan leürülő talajvíztesttel – a főmederbe távozott. A drasztikus vízszintesökkenés elindította a homokos kavics altalajban is a kiürülési folyamatot. A korábbi természetes állapotokat visszaállító vízpótlások megvalósítása

az egyoldalú üzembe helyezéstől – 1992. október 25. – a mai napig tartanak, finomodnak és még ma sem tekinthetők befejezettnek (pl. Öreg-Duna meder szabályozása).

**Azonnali beavatkozások (mentett oldali vízpótlás)**

Az egyoldalú üzembe helyezést követően (1992. október-1993. március) mindenekelőtt a mentett oldali holtágak és a vízvezető csatornák azonnali vízellátását valósították meg. Az engedély nélküli katasztrófa elhárítást a térség polgármesterei, vízhasználói, az érintett területek tulajdonosai és a hivatalban lévő kormány megbízott az akkori politikai széllel szemben bátran felvállalták. 1993 március végén már a mentett oldali vízpótlás üzemszerűen működött.

A vízpótláshoz szükséges vízmennyiséget gravitáción – Dunakiliti község mellett – a megépített tározó töltés lábánál húzódó szivárgó csatorna megcsapolásával lehetett biztosítani (6. ábra).



6. ábra. Azonnali beavatkozások hatásának helyszínrajza  
 Figure 6. Sites of the immediate interventions impact

Első eredményként a Zátyonyi-Duna és a Nováki-csatorna vízpótlása a holtág maradványok összekötésével keletkezett korábbi belvízvezető csatornahálózaton valósult meg. Az üzembe helyezése 1993. március 21-én történt meg. A vízkormányzást, vízszinttartást zsilipes műtárgyak biztosították.

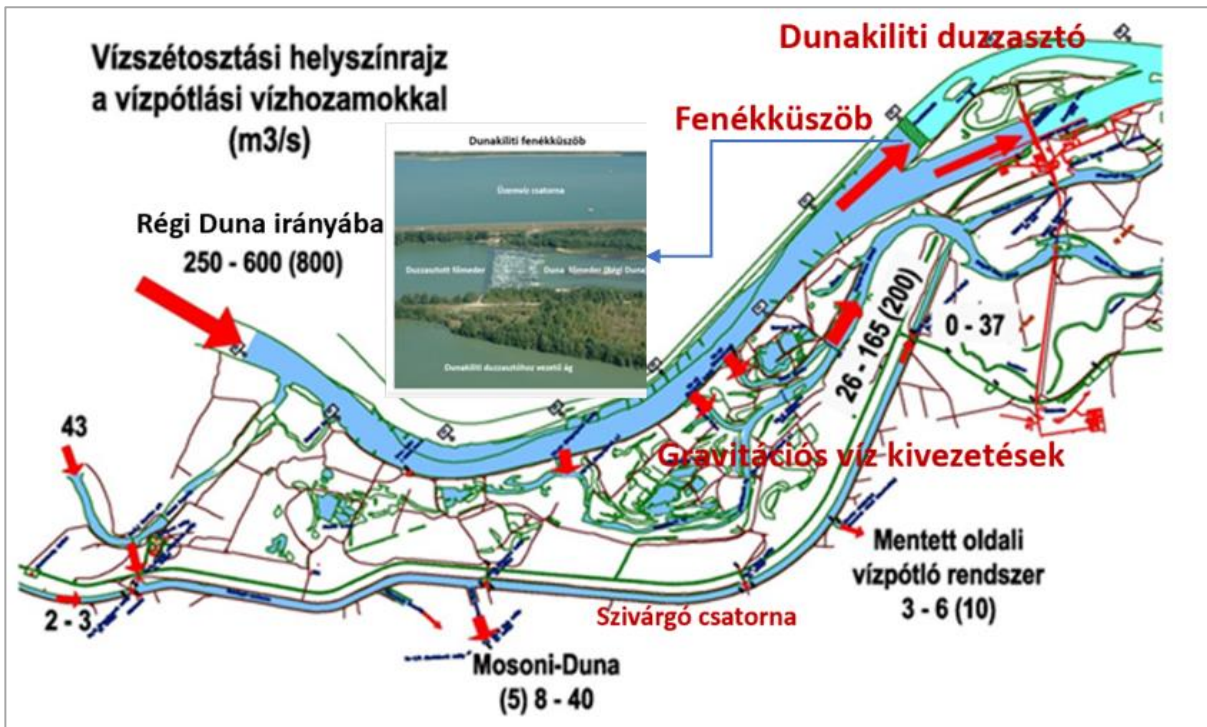
Az összesen 54 km hosszúságú új vízpótló ág érdekes „folyócska”. A Dunakiliti község külterületén lévő Kisrévi vízkivételen keresztül kivett, mintegy 5,0 m<sup>3</sup>/s vízmennyiség a folyásirány mentén folyamatosan csökken – a víz egy része a térség talajvíztestét táplálja – és mire Novápusztára, a befogadó Mosoni-Dunához ér, ez a mennyiség lecsökken mintegy 1,0-1,5 m<sup>3</sup>/s-ra.

Ez a vízpótlás volt az, amely a gyakorlatban is bemutatta, hogy miként lehet a gravitációs vízpótlásokat eredményesen megvalósítani! Az azóta eltelt, most már több mint 30 év során ez a vízrendszer számos célt kielégítve, jónéhány kiemelkedően értékes vizes élőhelyet létrehozva teljesíti feladatát.

### Felső-szigetközi mellékág rendszerek vízpótlása (Dunakiliti-Ásványráró)

1995 májusában, a Duna folyam főmeder 1843 fkm-ben, egy meglévő gázlóküszöbnél épült meg egy keresztirányú, a két partot összekötő kőmű (durva rámpa), melynek elsődleges feladata a mederben érkező kis vízhozamok

felszínének megemelése volt. A fenékküszöb mellett lévő mederátvágásban megépített Dunakiliti duzzasztómű segítségével megemeli a felette lévő folyószakasz vízszintjét, így a hullámtéri vízpótlás részét képező mellékágak vízellátása gravitációsan megtörténhet. A kiengedett víz mennyiségét a fenékküszöb feletti vízszint emelésével és süllyesztésével lehet szabályozni. A szabályozást a Dunakiliti duzzasztómű végzi úgy, hogy a felvízszintet a szegmens elzáró táblák részleges nyitásával és fojtásával emeli és süllyeszti (7. ábra). Ez az üzemrend nemes feladattal látja el a funkció nélkül maradt Dunakiliti duzzasztót, mely így a hullámtéri vízpótlásoknak a fő szabályozó elemévé, a térségi rehabilitáció fő eszközévé vált.



7. ábra. A Felső-Szigetköz vízszétosztási helyszínrajza a vízpótlási hozamokkal (m³/s)  
Figure 7. The water distribution site map of Upper-Szigetköz with water supplement yields (m³/s)

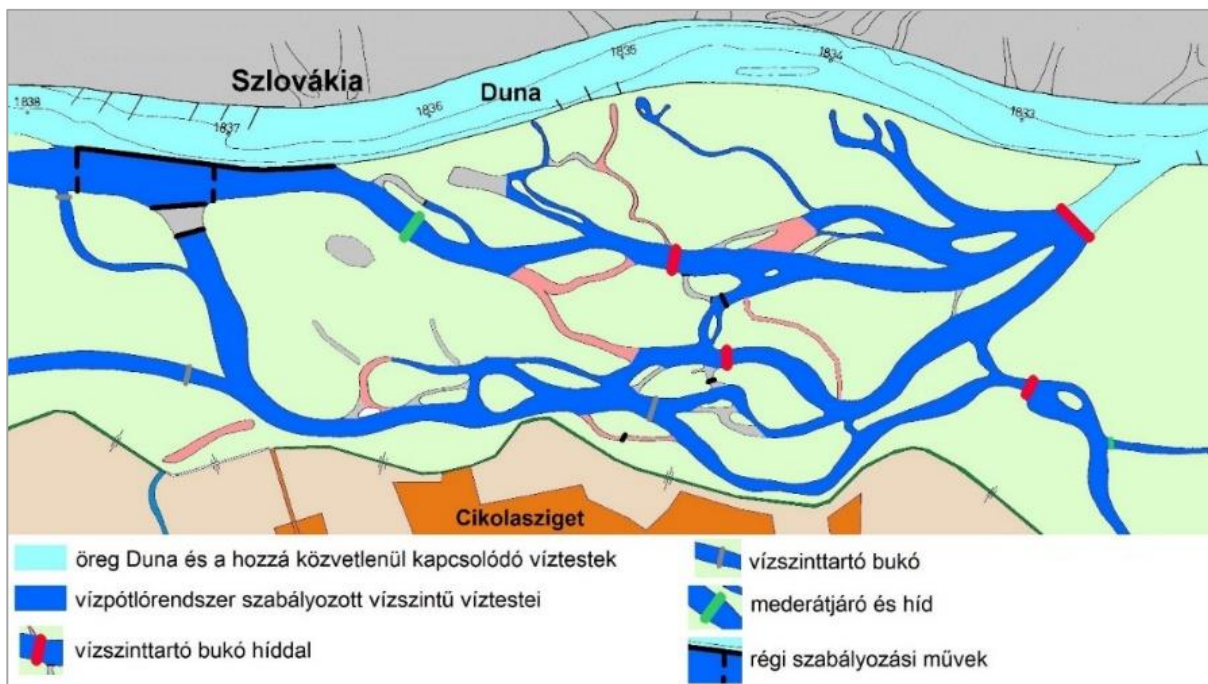
A vízpótló-rendszer belső elemei azok a bukók, fenékküszöbök és elzárások, melyek a mellékágakon belüli vízszinttartást – és ezáltal a környező talajvízszintek tartását is – biztosítják. Ezek teszik tehát lehetővé azt, hogy jóval alacsonyabb vízhozamok mellett is tarthatók legyenek az elterelés előtti vízszintek (8. ábra).

Az ágrendszerekben a vízpótlás a BNV (Bős-Nagymaros) Vízlepcsősorrendszer beruházás részben megvalósított vízpótlási művek felhasználásával, az ágrendszerek alsó torkolati szakaszának – a Duna főmedrére történő bevezetés – lezárásával, valamint az ágrendszerek közötti főmedertől független átvezetések kiépítésével valósult meg. Az ágrendszerek összekötése alapvetően a régi ágak felhasználásával történt, a dunaremetei nagyon szűk hullámtéren megvalósított csatorna kivételével, mely az Ásványi ágrendszer vízpótlását valósította meg (6. ábra).

A fenékküszöb megépítése és a Dunakiliti duzzasztó szabályozó üzele lehetővé tette a mellékágrendszerek szabályozott gravitációs vízellátását. A mellékágak a Duna főmederi kapcsolatának megszüntetésével – ágvégek lezárása – és a terepviszonyoknak megfelelő eséscsökkenést

biztosító keresztgátak – mellékágak lépcsőzése – megépítésével, valamint a szabályozást végző fenékküszöb és a Dunakiliti duzzasztó segítségével a bevezetett vizek már képessé váltak az 1950-es évek vízjárását megvalósítani. Így lehetővé vált, hogy a főmederben érkező vízmennyiség egy részét a hullámtéri mellékágrendszerek felső végénél, a Duna folyam 1846,9, az 1845,9 és az 1845,4 fkm-ben kibontott és stabilizált töltőbukókra keresztül kivezessék a hullámtérre (2. kép, 6. ábra). Ez egyben azt is jelenti, hogy a duzzasztó szabályozza az átadott hozam megosztását az Öreg-Dunameder és a vízpótló-rendszer között. Árvízkor a duzzasztó zsilipjeinek teljes nyitásával biztosítják többelhozamok biztonságos levezetését. A fenékküszöb, mint durva rámpa biztosítja a halak számára az átjárhatóságot is.

A Dunakiliti duzzasztómű alapfeladata az eredeti tervekhez képest – a szükségintézkedések időszakától kezdődően – jelentősen megváltozott. Jelenleg a Duna 1843 fkm-ben épült fenékküszöb támogatásával a szigetközi hullámtéri vízpótlásának fő műtárgya. Szabályozó funkciójának köszönhető, hogy a Duna természetes vízjárását az egész Szigetközben szimulálni lehet.



8. ábra. A szigetközi vízpótló-rendszer cikolai alegysége (Zsuffa és társai 2023).  
 Figure 8. The Cikola subunit of the Szigetköz water supplement system (Zsuffa et al. 2023).



2. kép. Dunakiliti duzzasztómű (Fotó: ÉDUVIZIG)  
 Photo 2. Dunakiliti dam (Photo by ÉDUVIZIG)

A hullámtéri vízpótló Üzemelési Szabályzata (Szigetközi Hullámtéri vízpótló-rendszer 2001) a térségben élőkkel közösen meghatározott célkitűzéseként a jó ökológiai potenciál megteremtését tűzte ki célul. Ennek érdekében valósult meg a referencia állapot (1950-es évek vízjárása) szimulálása. Az üzemeltetés alapja: a Duna természetes vízjárásának elérése, melyet a pozsonyi (dévényi) vízhozam figyelembevételével szabályoznak (1. táblázat).

A Dunakiliti duzzasztómű nyílásainak fojtása, vagy nyitása segítségével biztosítható a szabályozás. A 8. ábrán a 2002. év vízhozamait ábrázoltuk. Kék színnel a dévényi szelvényben mért Dunai vízállások változásai, zöld színnel a referencia időszak alapján kiszámított szükséges

vízjárás, piros színnel a tényleges üzemelés során bekövetkezett vízszintek jellennek meg.

Külön szabály határozza meg a hullámtéri elárasztást, amelyet április 01. és május 31. közötti időszakban szükséges évente egy alkalommal végrehajtani, amennyiben a Duna rajkai szelvényében a vízhőmérséklet eléri a +10 °C-t és a Duna vízhozama a Pozsony-Dévényi szelvényben az előre jelezhető időszakban meghaladja a 2 500 m<sup>3</sup>/s-ot. Az elárasztáshoz a szlovák fél az Öreg-Dunába 800 m<sup>3</sup>/s vízhozamot biztosít 14 napon keresztül. Amennyiben az Öreg-Duna átöblítésének és a szigetközi hullámtéri vízpótló-rendszer elárasztásának feltételei is kialakulnak, úgy az átöblítés a szigetközi mellékágrendszer egyidejű elárasztásával történhet. Az

Öreg-Duna főmedrére átadott vízhozam az átöblítéssel egyidejűleg történő elárasztás esetén is 14 napig leg-  
alább 800 m<sup>3</sup>/s (Szigetközi Hullámtéri vízpótló-rendszer

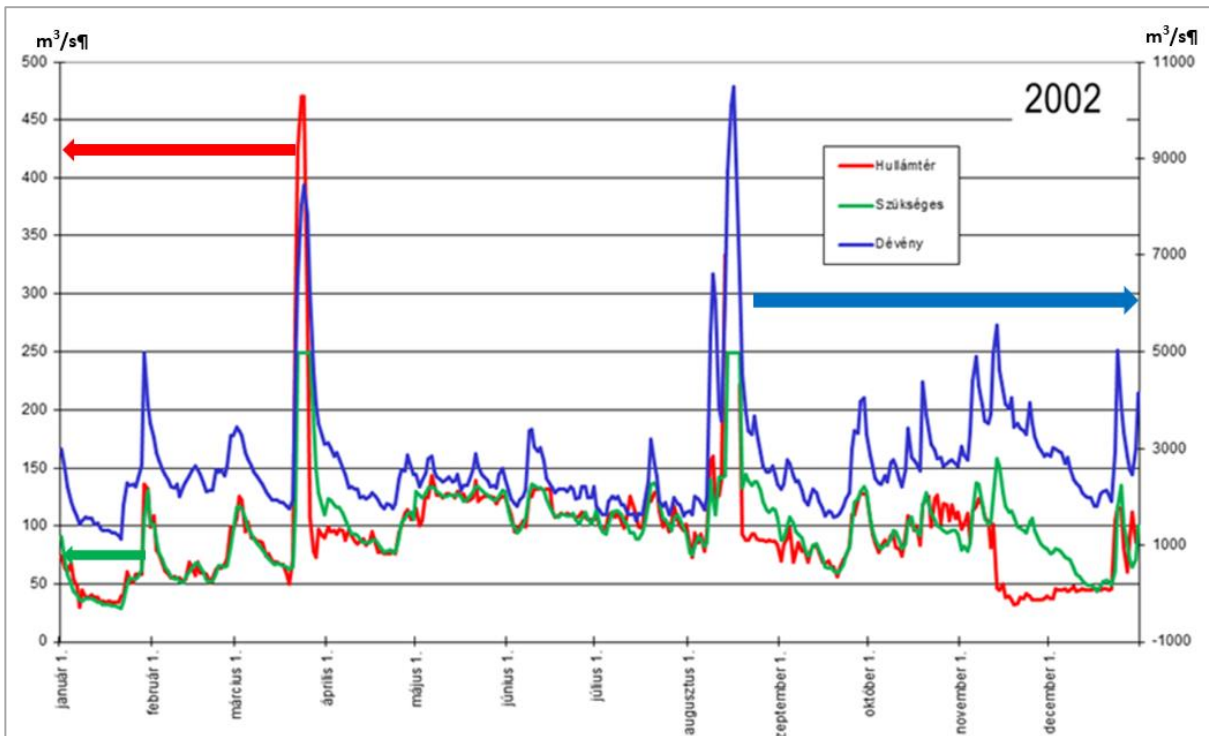
2001). A hullámtéri elárasztás ökológiai célokat szolgál (pl.: a fő ívási időszak során a halak ívási körülményeit javítják).

1. táblázat. Az üzemrend szerint a hullámtérbe vezetett vízhozamok (Szigetközi Hullámtéri vízpótló-rendszer 2001)

Table 1. Flows to the floodplain according to operational order (Szigetköz floodplain endowment system 2001)

Hó- nap	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Q Dévény	m <sup>3</sup> /s											
1 000	26	26	37	40	40	60	60	57	26	26	26	26
1 200	30	29	41	51	80	80	80	68	40	35	32	29
1 400	34	33	48	60	80	80	80	80	54	44	399	66
1 600	38	37	55	69	90	86	90	80	65	53	45	37
1 800	43	42	62	78	103	96	103	81	74	62	51	72
2 000	48	48	68	86	113	104	114	90	82	70	56	48
2 200	53	54	76	93	121	110	122	99	90	77	61	54
2 400	59	61	83	100	128	117	129	107	97	84	67	60
2 600	65	68	90	107	132	122	135	115	1004	90	72	66
2 800	71	76	97	113	138	129	140	121	11	97	78	73
3 000	77	84	104	119	143	134	146	127	118	103	84	80
3 200	84	93	111	125	146	140	152	131	123	109	90	86
3 400	91	102	118	130	149	144	157	136	128	115	96	93
3 600	98	112	125	134	152	149	160	140	132	120	102	101
3 800	105	123	134	141	156	153	164	145	134	124	108	108
4 000	113	134	143	149	158	157	165	152	143	128	116	115
4 500	134	165	165	165	165	165	165	165	165	134	134	134

Megjegyzés: A szürkével jelzett vízhozamok esetében a hullámtér mélyebb területein már részleges elárasztás keletkezik.  
Note: In the case of water flows marked in gray, partial flooding already occurs in the deeper areas of the foreshore



8. ábra. Az üzemrend a Duna vízjárását követi  
Figure 8. The operating schedule follows the water course of the Danube

A Szigetközi vízpótló-rendszerek üzemeltetését az ÉDUVIZIG végzi az Üzemelési Bizottság (ÜB) felügye-  
lete alatt. Az ÜB a vízpótló-rendszerrel kapcsolatban az

érintett önkormányzatok, a tulajdonosok, a gazdálkodó  
szervek, valamint az állami hivatalok megbízott képvise-  
lőiből tevődik össze, mely évenként értékeli, és adott eset-

ben módosítja az Üzemelési Szabályzatot az aktuális igények és a lehetséges műszaki megoldások figyelembevételével.

A rehabilitáció tervezése és a megvalósítása során kiemelt szempont volt a szigetközi hullámtéri vízpótló-rendszer belül a vízi élettér megvalósítása. A Szigetköz egészét

érintő tájrehabilitáció egyik eleme Magyarország első természetközeli halátjárója (hallépcsője), mely folyamatosan minden vízjárási helyzetben, valamint a téli időszakban is jól működik, így javítani tudja a Duna folyam főmedre és a Cikolai mellékágrendszer vízterei között a vízi élőlények vándorlását (3. kép).



3. kép. Dunaszigetnél a Denkpáli ágvéglezárásba beépített természet közeli halátjáró (Fotó: Kertész)  
Photo 3. A back-to-nature fish ladder built at the Denkpáli branch end closure at Dunasziget (Photo: Kertész)

A felső-szigetközi vízpótlás kihasználja a terep és vízfelületek esésviszonyait, így gravitációs módon képes a korábbi természetes állapotokat helyreállítani

A hullámtérre bevezetett víztömeg hatására az altalajban lejátszódó folyamatok a térség teljes egészére hatást gyakorolnak. Duna közeli kutakban az eltereléskor lesüllyedt talajvízszintek a vízpótló-rendszer üzembe helyezése után, 1995-től megemelkedtek. A Felső-Szigetközben a kutak vízszint alakulása különvált a dunai főmederben lesüllyedt vízállásoktól. A talajvízszint éven belüli ingadozása csökkent. A korábbi 2-3 m-es amplitúdó a vízpótlás területén kb. 60 cm lett. A hullámtéri vízpótlás kisvizes dunai vízállásoknál is táplálja a talajvizet. A vízpótlás a Duna felső szakasza felől érkező felszín alatt áramló vizeket a korábbi természetes állapothoz hasonlóan bent tartja a Szigetközben. A Felső-Szigetközben csökkent a Duna megcsapoló hatása is. A fentiek igazolják, hogy a vízpótlások át tudták venni a Duna szigetközi vízállapotokra gyakorolt meghatározó szerepét.

A Rajka-Dunakiliti közötti részen megnövekedett a talajvíztartóba történő beszivárgás, ami a tározótóból származik. Ezért és a vízpótló fenti hatásának köszönhetően a Felső-Szigetközben még nőtt is a talajvízszint az 1992-1995. közti időszakhoz képest, míg az alsó területreszen ez érdeemben nem változott.

#### Középső- és Alsó-Szigetköz vízpótlása (Dunaszentpál-Vének)

Az 1995 utáni időszakban, a korábbi vízügyi előrejelzéseknek megfelelően jelentős vízgazdálkodási problémák jelentkeztek a térségben. Ezek közé tartozott, hogy a kisvizes időszakokban az alsó-szigetközi hullámtéri ágak időszakonként kiszáradtak, a vizes élőhelyek területi kiterjedése fokozatosan visszaszorult.

A hidrológiai vizsgálatok rámutattak, hogy Duna folyam 1811 fkm alatti szakaszán jelentős medersüllyedések következtek be, amelyek hatására a kapcsolódó mellékágak vízellátásának fokozatos romlása, esetenként megszűnése, a mellékágak kiszáradása következett be (Kertész

2015). A Duna elterelésének másodlagos, azaz közvetett hatására az Ásványi ágrendszer alsó szakaszán, illetve a Bagaméri és a Patkányosi ágrendszerekben jelentős vízszintcsökkenés alakult ki, felgyorsítva az ágrendszerek elöregedését (4. kép).



4. kép. A Bagaméri ágrendszer Pörös-szigeti mellékág, 2003. augusztus 29 -én (Fotó: Kertész)  
Photo 4. Pörös-island branch at Bagaméri branch system, August 29, 2003. (Photo by Kertész)

Ezen túlmenően a Bösi vízlépcső alvízcsatornája alatt – Szap környékén – az üzemvízcsatornán keresztül érkező vízben a görgetett hordalék hiányzik és a megmaradó kevesebb, finomabb szemcséjű hordalék nem elég az egyensúlyi állapot kialakításához és fenntartásához. Az ehhez hiányzó mennyiséget a folyó saját medréből mossa ki, ezért azt folyamatosan mélyíti.

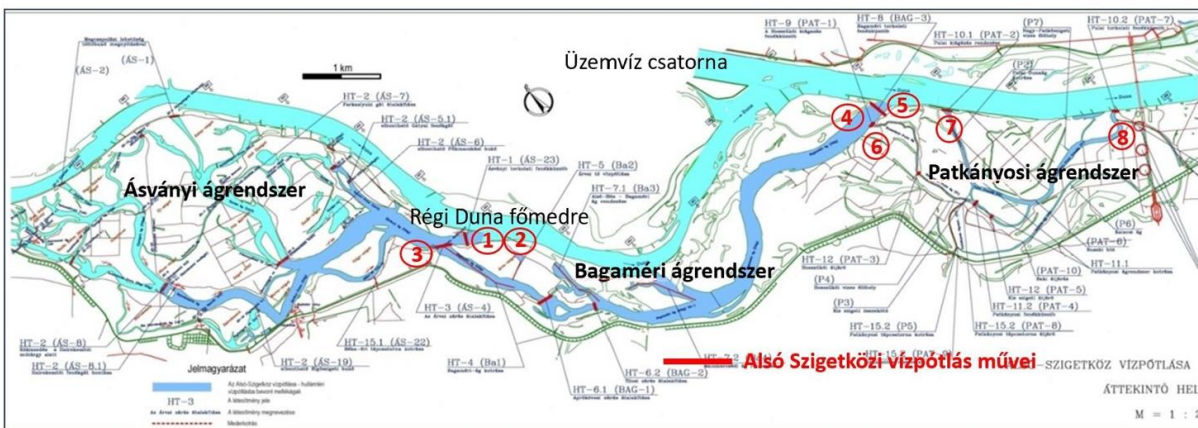
A Szap-Gönyű közötti folyószakaszon működő monitoring rendszer adatai alapján megállapítható, hogy a Medvei híd feletti szakaszon egyértelmű meder kimélyülés jelentkezik (Kertész 2015). A hordalékmozgató erő ezen a szakaszon nincs teljesen kihasználva, így a mederanyag kis és közepes szemcséi kimosódnak. A meder anyaga a vízjárás valamennyi helyzetében mozoghat. A szakasz hordalék mérlege egyértelműen negatív. A meder eróziója a Medvei híd alatti Nagybajcsi szakaszon is megjelent. Az

1800 fkm alatti szakaszon váltakozva jelentkeznek kimosódások és lerakódások.

A főág és a mellékágrendszerek közötti kapcsolat egyre rövidebb időszakokra korlátozódott. A Bösi vízerőmű és hajószilip üzembe helyezés, valamint a Szap alatti medermélyülési tendencia felgyorsította az üzembe helyezés előtti időszakban is megfigyelhető kis- és középviziek szintjének csökkenését. Ugyanakkor a hullámterek feltöltési folyamata az árvízi időszak hordalék lerakódása miatt továbbra is folytatódott. Az üzembe helyezés ezt a tendenciát ugrásszerűen emelte, mivel a Nagymarosi vízlépcső elmaradása az alvízi megtámasztás hiánya jelentős medermélyülést eredményezett a Szap-Gönyű közötti szakaszon. A kialakult medermélyülés következtében előáll

vízszint csökkenések hatása az Ásványráró-Nagybajcs közötti ágrendszerekben okozott jelentős károkat, így a vízpótlás itt is elengedhetlenné vált.

A fenti problémák megoldása érdekében a vízpótlásból korábban kimaradt ágrendszerek vízpótlása EU támogatással megvalósult meg. A „III. KEOP Szigetközi mentett oldali és hullámtéri vízpótló-rendszer ökológiai célú továbbfejlesztése” című projekt a Felső-szigetközi vízpótlásból származó, korábban az Ásványi ágon a Öreg-Duna medre felé távozó vízzel oldja meg a vízpótláshoz szükséges hozamok biztosítását (9. ábra). Megépültek az Ásványi ágrendszer alsó szakaszán, a Bagaméri ágrendszerben és a Patkányosi ágrendszerben a vízpótlás művei (III. KEOP 2011).



9. ábra. A Hullámtéri vízpótló-rendszer térbeli kiterjesztése (Kertész 1996)

Figure 9. Spatial extension of the Foreshore water supplement system (Kertész 1996)

Az Ásványrárói ágrendszerben megvalósult az ásványi torkolati fenékküszöb ① (9. ábra), az Ásványi ágrendszer csatlakozása és a Béka-éri tápcsatorna kotrása. Az alsó-szigetközi vízpótlás hatásfokának javítása érdekében a vízpótló főágon, a Duna folyam 1816 fkm térségében halátjáró ② (9. ábra) került kialakításra (9. ábra). A vízpótlás lehetőségét az ásványi ágrendszerben elhelyezett fenékküszöb teremti meg. A küszöb által létrehozott vízszintemelés biztosítja a vízpótláshoz szükséges vízmennyiség átvezetését.

A Bagaméri mellékágrendszerben megvalósult az Árvai zárás átalakítása ③ (9. ábra, 5. kép), a Bagaméri ág kotrása, az Árvai-tó vízpótlása, az Aprókövesi és a Tilosi zárás átalakítása, valamint az Alsóbős-Bagaméri és a Malomercsédi ágak rendezése. A vízpótlás a Bagaméri torkolati fenékküszöb ④ (9. ábra) és az itt elhelyezkedő halátjáró ⑤ (9. ábra) megépítésével vált teljessé (6. kép).



5. kép. Árvai zárás, Ásványráró 2023. 04. 10-én (Fotó Kertész)

Photo 5. Árvai closure, Ásványráró on 10/04/2023 (Photo by Kertész)



6. kép. Bagaméri halátjáró a Bagaméri torkolati fenékküszöbnél (Fotó Kertész)  
Photo 6. Bagamér fish ladder at the bottom sill of the Bagamér estuary (Photo by Kertész)

### Alsó-Szigetköz vízpótlása

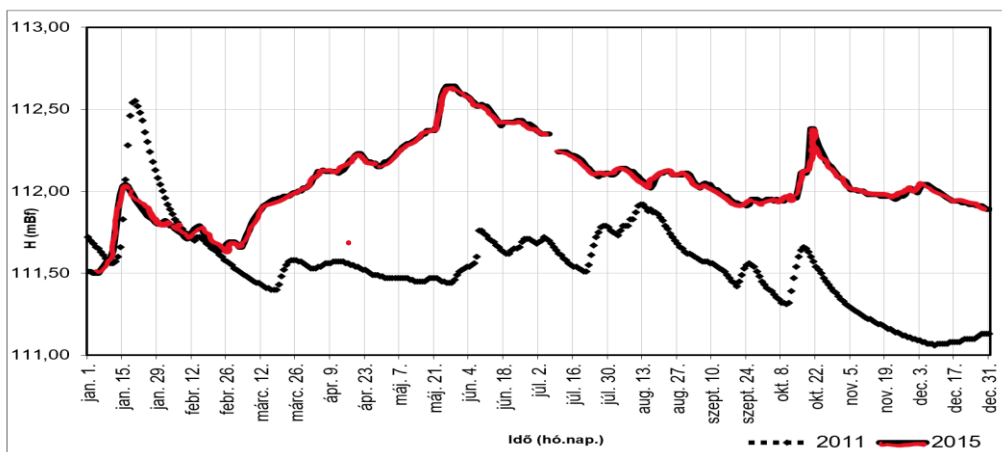
A Patkányosi ágrendszer vízpótlása a Felső-Szigetköz-ből érkező vízkészletére támaszkodva a Bagaméri-ágrendszerből történik (6) (9. ábra). Az érkező vizek folyamatos átvezetése érdekében megvalósult a Hosszúköi kiágazás (7) (9. ábra) és a Pulai torkolati (8) (9. ábra) fenékküszöb, a Patkányosi ágrendszer kotrása, a Patkányosi fenékküszöb, a Matláki-ág és a Patkányosi-tápcsatorna kotrása és a Kalacsi vízkivételi kőküszöb.

Az alsó-szigetközi mentett oldali vízpótló-rendszernek kialakítása lehetővé teszi a mentett oldali csatornák, holtmedrek vízellátását és a szivornyás vízkivételi lehetőségek megteremtését. Ez a megoldás megteremti az Alsó-Szigetköz mentett oldalán is a vízpótlás lehetőségét, így a mentett oldalon is létrejön a vizes élőhelyek revitalizációja. A mentett oldal vízellátása érdekében vízkivételi lehetőségek valósultak meg, így a Béka-éri, a Patkányosi és a Nagybjajcsi szivornyák.

A középső- és alsó-szigetközi vízpótlás jelentős változást eredményezett a talajvízviszonyok állapotában is. Míg

a Felső-Szigetközben az ottani vízpótló-rendszerek egyrészt megemelték a talajvízszinteket a kisvizes időszakokban az elterelés utáni szintekhez képest, másrészt a talajvízszint ingadozást is mérsékeltek, addig a Középső- és Alsó-Szigetközben ez a vízszintemelő hatás az alsó-szigetközi vízpótlás megvalósításáig már nem volt érzékelhető és a kutakban az ingadozás amplitúdója is nagy maradt. Az Alsó-Szigetközben a talajvíz áramlási viszonyokra az jellemző, hogy kisvizes dunai vízállapotban a dunai kisvizek leszívják a talajvizet, nagyvízi állapotban pedig megfordul az áramlás iránya (ÉDUVIZIG 2016).

Az alsó-szigetközi vízpótlás megvalósulásával a kisvízi állapotban a talajvízszintek megnövekedtek a vízpótlás előtti kisvízi állapothoz képest. Mivel ilyenkor is van víz az ágrendszerben és a csatornában, ez magasabban tartja a talajvízszinteket is és a főmeder nem tudja jelentős mértékben leszívni a talajvizet. A kutak vízszintingadozása itt is csökkent, főleg a szélsőséges kisvízi állapotok elmaradása miatt (10. ábra).



10. ábra. Ásványráró 3817. számú észlelő kút éves vízszint időszora az alsó-szigetközi vízpótló üzembe helyezése előtt (2011) és után (2015 április) (Magyar Nemzeti Jelentés 2015)

Figure 10. Time series of the annual water level of monitoring well No. 3817 in Ásványráró before (2011) and after (April 2015) of the operation of the lower-szigetköz water supplement system (Hungarian National Report 2015)

### Mosoni-Duna torkolati szakaszának fejlesztése

Az alsó-szigetközi vízpótlás legelső elemeként 2022 évben egy újabb nagyszabású vízgazdálkodási projekt ért célba a Mosoni-Duna torkolati művének megépítésével. A műtárgy az alsó-szigetközi vízpótlás létesítményeit

kiegészítve a Mosoni-Duna kis és közepes vízszintjeinek a süllyedését, valamint Alsó-Szigetköz talajvizeinek kiürülését akadályozza meg. Üzemével lehetőséget teremt, hogy a Mosoni-Dunán is érvényesüljön az 50-es évek természetes vízjárása. A fejlesztésben megépült műtárgy az

árvízkapu funkciót is biztosító vízszintszabályozó műből, egy hajószilipből és a Mosoni-Duna hosszirányú ökológiai átjárhatóságát biztosító halátjáróból áll. A projekt egyik fontos eleme a Mosoni-Duna torkolatának áthelyezése volt, amellyel megvalósulhatott a vízviszonyok helyreállítása és ezzel a megoldással a Győr-Gönyű kikötő medencés kikötővé vált (7. kép).

A beruházás szükségességét alapvetően a Duna medrében bekövetkezett nagymértékű süllyedés káros hatásai indokolják. A Mosoni-Duna torkolatánál a kisvízszintek mintegy 2 métert süllyedtek. A Duna medrének süllyedése a Bósi vízlépcső üzembehelyezése után felgyorsult. A meder süllyedésének negatív hatása a dunai kisvízes időszakokban jelentkezett leginkább. A kisvizek leszívták a Mosoni-Duna alsó torkolati szakaszán a vizeket, ugyanakkor a megváltozott vízforgalom miatt jelentőssé vált a Mosoni-Duna feliszapolódása. A Duna medrének fokozatos beágyazódása miatt, a Mosoni-Duna alsó, torkolati szakaszán a kis és közepes vízszintek folyamatosan csökkentek és ennek következményeként a főág, illetve a mellékágrendszer és egyéb hullámtéri vizes élőhelyek közötti kapcsolatrendszer beszűkült, vagy megszűnt. A kis és közepes vízszintek csökkenésével egyre nehezebbé vált illetve lehetetlenné a természetvédelmi-ökológiai törekvések kivitelezése. Az alsó-szigetközi mellékágrendszer rehabilitációja, az Alsó-Szigetköz mentett oldali vizes élőhelyeinek vízpótlása érdekében tett erőfeszítések csak részben érték el céljukat.

A kedvezőtlen hatás elsősorban Győrnél, de még a Rába alsó szakaszán is érzékelhető volt. Ezért hívták a helyiek Győrt a vizek városa helyett a pocsolják városának. Mindezek mellett komoly gondot okozott az árvízszintek emelkedése, hiszen a Mosoni-Duna alsó szakasza nem volt elzárva ezért a Dunai árvizek akadálytalanul jelentek meg a Mosoni-Duna alsó szakaszán (Vének–Dunaszentpál). Legutóbb a 2013-ban vonult le rekord méretű árhullám a Dunán, mely az egész Alsó-Szigetközt veszélyeztette.

A fenti összetett problémákra egy komplex műtárgy kialakítása jelentette a megoldást. A kivitelezést 2017-ben kezdődött. A projekt részeként az üzemelési, a fenntartási munkák elvégzéséhez egy üzemi hidat is kialakítottak a műtárgy fölött, valamint egy kétszintes kezelőépület is létesült a hajószilip mellett. A vízi turistákra való tekintettel a kajakok, kenek kézi átemelési lehetőségének megteremtésére csónakátemelő rámpákat és sólyákat alakítottak ki. A projekt keretében a Mosoni-Duna torkolatát áthelyezték, mely részben a Farkasúsztatói ágon, részben pedig a Torda-szigeten keresztül, a korábbi torkolat felett mintegy másfél kilométerrel feljebb vezet most már a Mosoni-Duna vizét a Dunába. A korábbi medret a Győr-Gönyű Országos Közforgalmú Kikötő feletti szakaszon áttöltötték (7. kép).

A torkolati mű üzembe helyezésével a Mosoni-Duna szintjének kisvízi állapotban történő megemlése és szinten tartása, az árvízszintek kritikus elemeinek visszatartása a torkolati mű tábláinak mozgatásával lehetővé vált. A műtárgy szabályozó funkciója lehetővé teszi a célként megfogalmazott 1950-1960-as évekre jellemző vízszintek előál-

lítását. A szélsőséges vízszinteket, melyek a korábbi természetes állapotnál nem fordultak elő a torkolati mű megszüntetése.



7. kép. A Mosoni-Duna torkolati műtárgy (Fotó: ÉDUVIZIG)  
Photo 7. The Mosoni-Danube estuary unit (Photo by ÉDUVIZIG)

A szabályozás a talajvízszintekre is pozitív hatást gyakorol, megtámasztva az Alsó-Szigetközi talajvízszinteket. Korábban a Mosoni-Duna vízszintje az év legnagyobb részében alacsonyabb volt a szigetközi talajvízszintnél a Győr és Vének közötti térségben. Tekintettel arra, hogy a felszín alatti talajvízáramlás fő iránya is a Mosoni-Duna e szakasza felé mutat, a Mosoni-Duna közép- és kisvízes időszakokban leszívta a talajvízkészletet. A Mosoni-Duna visszaduzzasztása az Alsó-Szigetköz területén egy sávban magasabban tartja a talajvízszinteket, aminek következtében kisvízi időszakban sem érvényesül a Mosoni-Duna leszívó hatása (11. ábra), (ÉDUVIZIG 2023).

Az 1950-60-as évekre jellemző torkolati vízszintek visszaállítása lehetővé tette a Mosoni-Duna menti vizes élőhelyek rehabilitációját is. A projekt továbbá kedvező hatást gyakorol a hajózhatóságra, a győri városkép javítására és a vízszint rehabilitáció hatásterületén az árvízvédelmi biztonság növelésére.

## MAI HELYZET

### A vízpótlások legfontosabb tapasztalatai

A vízpótlási rendszerek üze 30 éves tapasztalattal rendelkezik. Az így szerzett tudás, valamint a működést folyamatosan figyelő monitoring elemek adatai alapján egyértelműen rögzíthető, hogy:

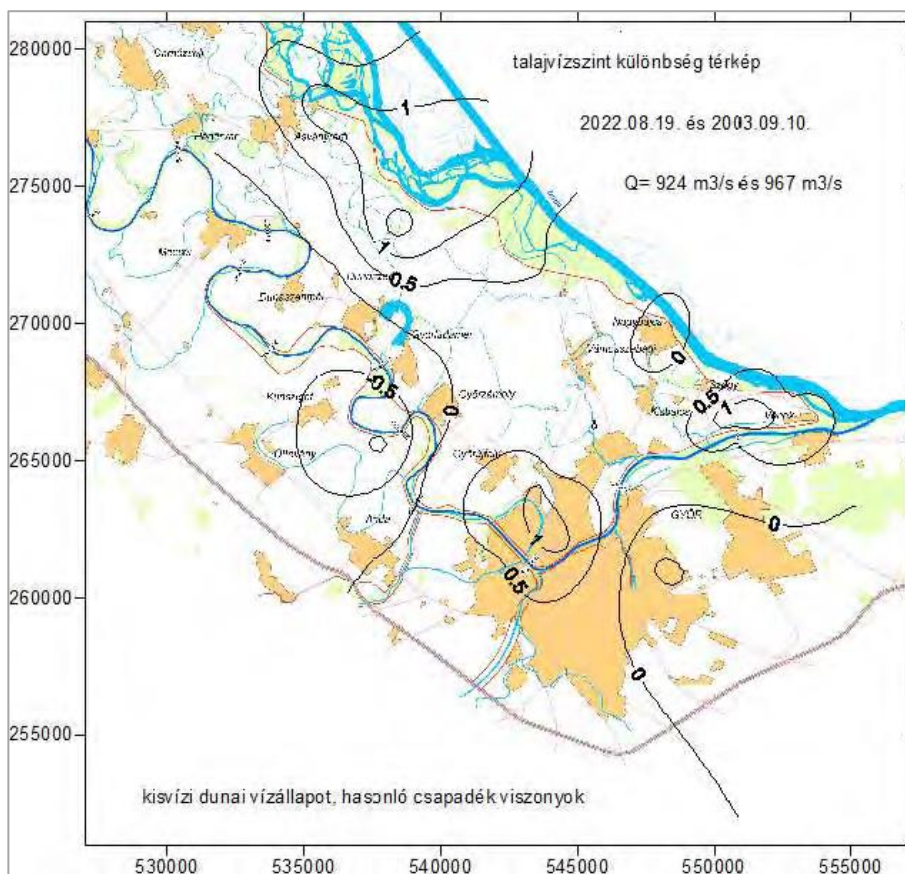
- A vízpótlások át tudták venni a Duna térségi vízjárásra gyakorolt szabályozó szerepét. A mellékágak és a mentett oldali vízpótlások szabályozott módon egy korábbi természetes állapotot szimulálnak, így a teljes Szigetközben – kivéve a Duna régi főmedre – az 50-es évekre jellemző vízviszonyok állnak elő. Vizes élőhelyek sokaságának rehabilitálása valósult meg, új kiemelkedő értékű vizes élőhelyek gazdagítják a Szigetköz világát. A terület kiemelt természetvédelmi területi értékekkel rendelkezik.

- Az egész Szigetközre kiterjedő szabályozási rendszer példaértékű revitalizáció, mely világörökség szintű mozaikos vizes élőhely rendszereket teremtett, mely jó példa lehet a pusztuló Gemenc számára is.



Ugyanakkor nem szabad elfelejteni, hogy a Szigetköz melletti Duna közös folyó, így a főmederbe történő beavatkozások és a vízáradás csak a két ország közös akarata szerint valósulhat meg. A Bősi vízlépcső (Dunacsúny duzzasztó, üzemvízcsatorna, Bősi erőmű

és hajószilip) szlovák kézben van, mely Magyarország számára kiszolgáltatott helyzetet teremt. A magyar beleszólás nagyon korlátos, a magyar érdekek képviselete a jogilag nem rendezett állapot miatt szinte lehetetlen (12. ábra).



11. ábra. A torkolati mű üzembe helyezése előtti és utáni időpontban kialakult talajvízszintek különbség térképe hasonló csapadék viszonyok és kiszáradt duna vízállapotok esetén (ÉDUVIZIG 2023).

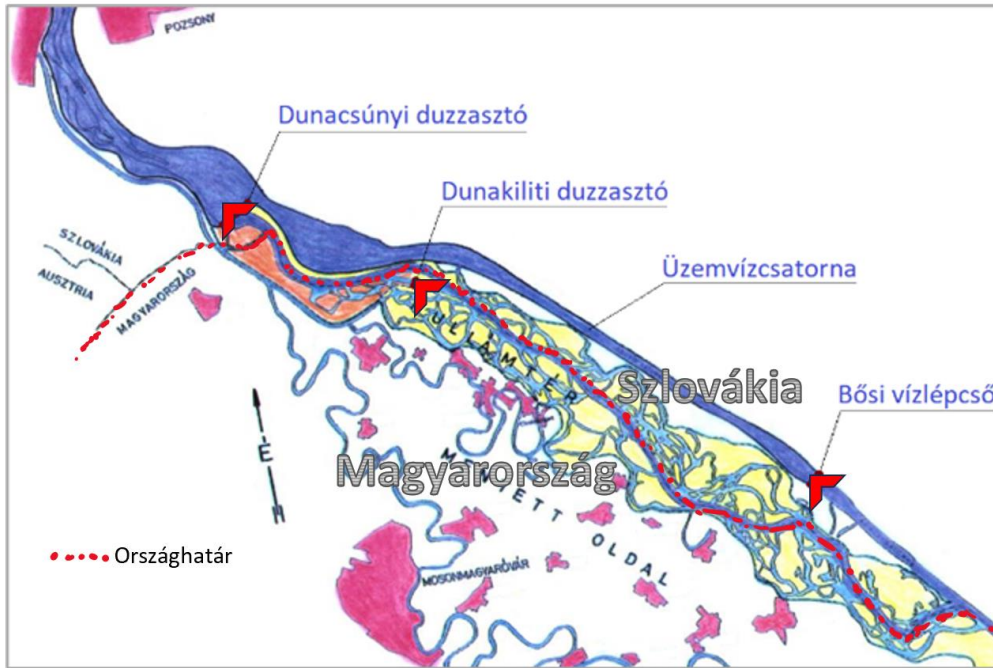
Figure 11. Map of groundwater levels differences before and after the operation of the estuary unit in the case of similar rainfall and low Danube water level conditions (ÉDUVIZIG 2023).

A mai napig is rendezetlen (nincs megállapodás az alapkérdésekben) állapot mellett azonban a régi dunai főmederbe és a Magyarországra kerülő víz mennyiségének kérdésében sikerült megállapodást kötni. 1995. április 19-én a magyar és a szlovák kormány rögzítette, a Duna főmedrébe és a Mosoni-Dunába biztosítandó vízhozamok nagyságát, másrészt felhatalmazta a magyar felet, hogy Dunakilitinél, a Duna 1843 fkm-ében megépítse a vízügyi szakemberek által javasolt fenékküszöböt. A megállapodás szerint a Duna főmedrébe vezetett hozam a folyó aktuális Dévényben mért hozamának és az aktuális hónapnak a függvénye (13. ábra). A vízáradás jelenleg is a megállapodás alapján történik.

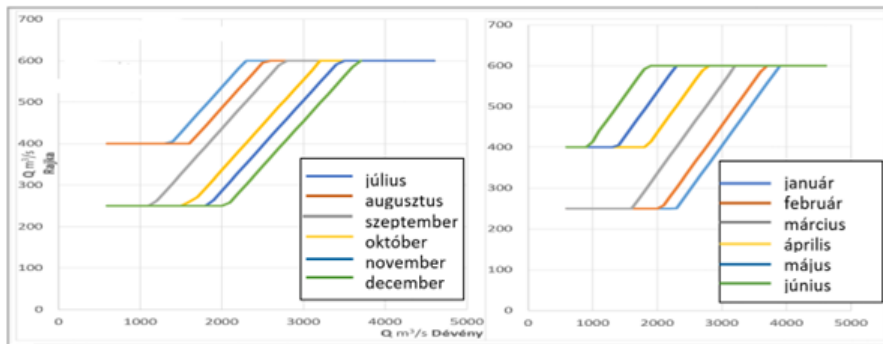
Az 1995 nyarán megépült a dunakiliti fenékküszöb és a Dunakiliti duzzasztó együttese a szigetközi vízpótló-rendszer megvalósulásának alpműtárgya lett. A Dunakiliti duzzasztó vezénylőjében történik a mentett oldali és a hullámtéri vízpótlások szabályozása (14. ábra). A mentett oldali vízpótlás 1993. márciusa és a hullámtéri vízpótlás 1995. augusztusa óta folyamatosan, üzemszerűen működik. Mindkét rendszer tisztán gravitációs úton, hatékonyan biztosítja a szigetközi mentett oldali víztestek és a szigetközi mellékágrendszerek vízellátását.

A vízpótló-rendszerek elemei, melyek az 50-es évek vízjárását teremtették meg, alapvetően jól működnek, viszont a működés folyamatos megfigyelésére a rendszer egyes elemeinek finomítására folyamatosan szükség van.

Az ágrendszerek végeinek lezárása, az ágrendszerek főmedren kívüli összekötése, a nagy felszínesést csökkentő kis duzzasztott terek létrehozása lehetővé tette azt, hogy a célállapot fenntartásához elég legyen csak az elszivárgó és az elpárolgó vizek pótlását biztosítani. A vízpótló-rendszer szabályozhatósága megteremtette az ökológiai szempontból kedvező, folyamatosan változó állapotok létrehozását, mind a szigetközi hordalékkúpban, mind a felszíni vizekben a mentett és a hullámtéri oldalon egyaránt. A szabályozható vízpótló-rendszer képes létrehozni azokat a hidrológiai viszonyokat, melyeket korábban a Duna hozott létre. A vízpótló-rendszer tehát átvette a Duna szerepét. Mivel a rendszer vízellátása teljesen szabályozott, lehetőség van a mellékágrendszerek hidrológiai viszonyainak pontos beállítására és ennek következményként a vízlépcsőprojekt előtt beindult degradációs folyamatok kompenzálására is.

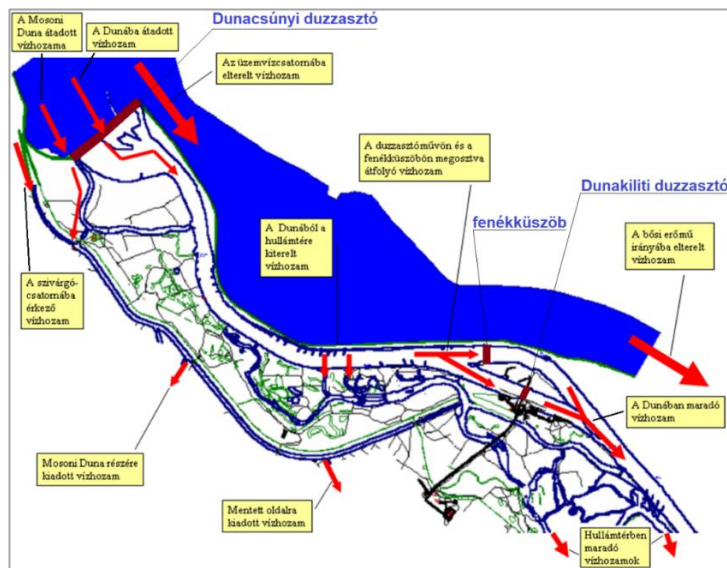


12. ábra. Az 1992. október 25-én üzembe helyezett Bósi vízlépcső létesítményei (Zsuffa és társai 2023)  
 Figure 12. The units of the Bósi barrage system, put into operation on October 25, 1992 (Zsuffa et al. 2023)

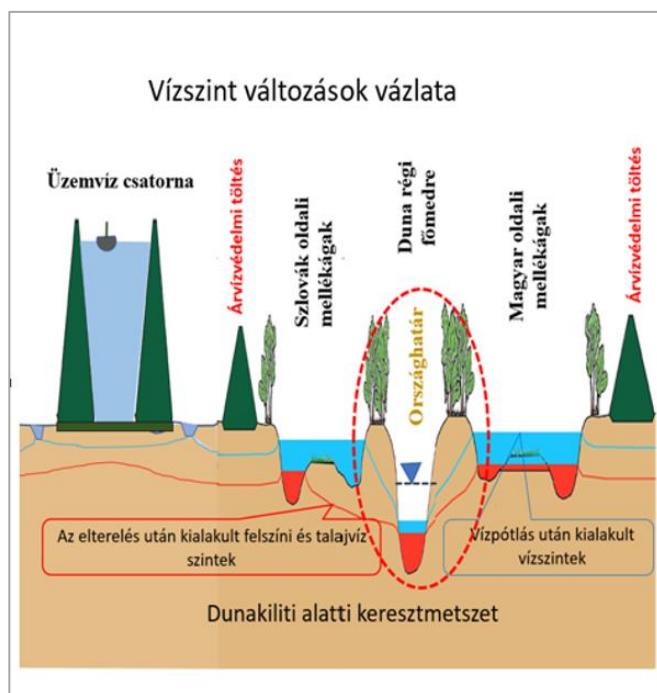


13. ábra. A Dunacsúnyi duzzasztón keresztül a Duna régi medrébe történő vízhozam átadás üzemrendje  
 (Szigetközi hullámtéri vízpótló-rendszer 2001.)

Figure 13. Operation schedule for transferring water flow to the old bed of the Danube through the Dunacsúnyi dam (Operational order of Szigetköz floodplain endowment system 2001.)



14. ábra. A szigetközi vízpótló-rendszer betápláló alrendszere (Szigetközi hullámtéri vízpótló-rendszer 2001.)  
 Figure 14. The intake subsystem of the Szigetköz water supplement system (Szigetköz floodplain endowment system 2001.)



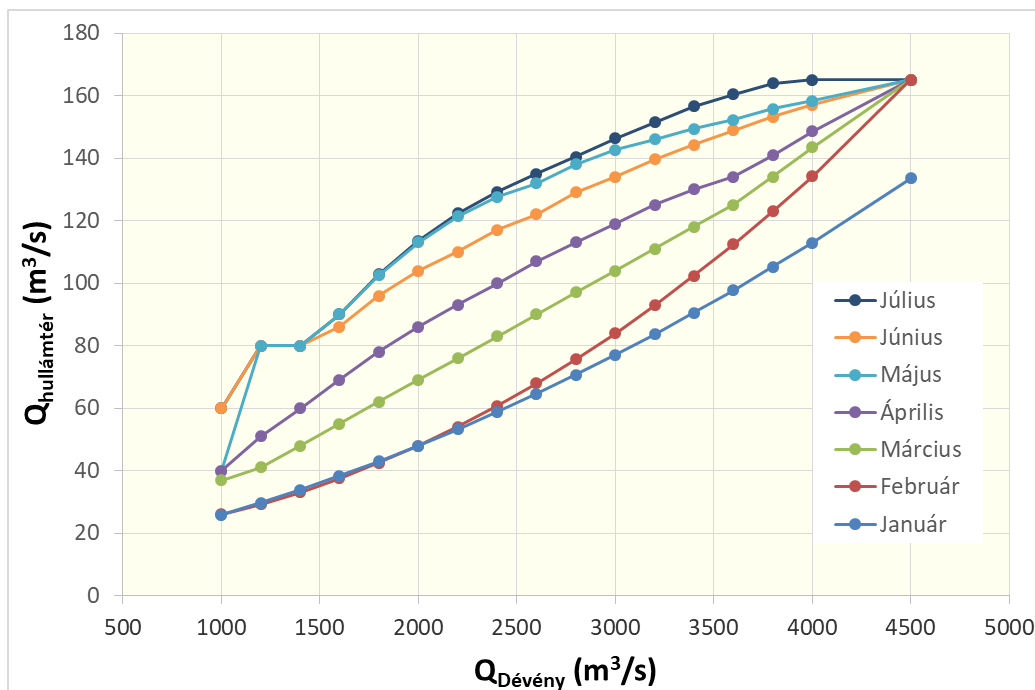
15. ábra. Felszín és felszín alatti vizek állapota a Szigetköz tejfalui szelvényében, hasonló hidrológiai helyzetű különböző időpontokban (Németh 2016)

Figure 15. State of surface and subsurface waters in the Tejfalu section of Szigetköz, at different times with a similar hydrological situation (Németh 2016)

A 15. ábra jól mutatja, hogy a vízpótló-rendszer nemcsak az elterelés káros következményeit szüntette meg, hanem még az elterelés előtti időkhöz képest is javított a hullámtér hidrológiai viszonyain.

A hullámtér vízellátásának alapját a vízpótló-rendszerbe táplált vízhozamok képezik, melyeket – hasonlóan

a Dunacsúnynál átadott vízhozamokhoz – a Duna aktuális dévényi hozama és az aktuális hónap határoz meg. A cél az, hogy a vízpótlás dinamikusan kövesse egyrészt a Duna mindenkori vízjárását, másrészt az ökoszisztémák és az ökoszisztéma szolgáltatások vízigényeit, melyek évszakonként változnak (16. ábra).



16. ábra. A szigetközi hullámtéri vízpótló-rendszerbe betáplálendő vízhozamok üzemrendje az év első felében (Szigetközi hullámtéri vízpótló-rendszer 2001)

Figure 16. Operating schedule of the water flows to be fed into the Szigetköz foreshore water supplement system in the first half of the year (Szigetköz floodplain supplement system 2001)

A vízpótlás alapelvei az Üzemelési Szabályzatban kerül rögzítésre. A vízpótló-rendszer üzemeltetője az ÉDUVIZIG, a vízpótlás felügyeletét pedig a 80-as évek sikeres együttműködése alapján létrehozott Szigetközi ÜB végzi.

Az ökológiai viszonyok további javítása érdekében, 2004 óta részleges tavaszi árasztások is történnek a szigetközi hullámtéren, a Duna medrébe a Dunacsúnynál átadott

vízhozam 600-ról 800 m<sup>3</sup>/s-ra történő növelésének segítségével. A hullámtér tavaszi elárasztása rendkívül fontos az előtött növényzetet ívó- és táplálkozó helyként használó halak számára; így biztosítva továbbá az ártéri növényzet víz- és tápanyagellátását (8. kép). Az előtött hasznos még az olyan ivadékhalkból táplálkozó gázlómadarak számára is, mint például az egészséges ártéri ökoszisztémák jelképének tekintett fekete gólya.



8. kép. Mesterséges tavaszi árasztás a Szigetközben (Fotó: Kertész)  
Photo 8. Artificial spring flooding in Szigetköz (Photo by Kertész)

A szlovák féllel történt megállapodás szerinti, árasztás hatására a hullámtéren kialakuló vízszintek megfelelnek az 50-es években 3 000-4 000 m<sup>3</sup>/s-os közepes árvizek során kialakult vízszinteknek. Így tehát olyankor is megtörténik a jótékony tavaszi elárasztás, amikor az a Bős-Nagymarosi Vízlépcsőrendszer (BNV) építése előtti időkben elmaradt a tavaszi árvizek hiánya miatt. Az árasztási időszak végén az átadott vízhozam csökkentése lassan történik, így a vízszintek is lassan csökkennek a hullámtéren, ami biztosítja azt, hogy a leírt halak és az ivadékok biztonságban visszajussanak a permanens víztestekbe.

#### Fokrendszerek kialakítása

Szigetközben új elemként megjelent a fokrendszerek gyakorlati megvalósítása is. A vízpótló-rendszert és a Nyárási átvágás északi oldalán található lapost, valamint az újszigeti vizes élőhelyet fok-csatornákkal kötötték össze. A rávezető fokok a vízi élőlények számára javítják az életfeltételeket. A tavaszi mesterséges árasztások a fokon bejutva sekély vízborított-ságú területeket alakítanak ki, melyek a halak számára kedvező ívó- és táplálkozó helyeket jelentenek. Az alulról történő feltöltés lehetővé teszi azt is, hogy a lassú apadás során a vizek visszavezetése is megvalósuljon, miközben a leírt halak és az ivadékok a szomszédos Duna-ágba vándorolhatnak (9. kép).



9. kép: Újszigeti vizes élőhely rávezető foka (Fotó: Kertész)  
Photo 9. Inlet canal of Újsziget wetland (Photo by Kertész)

A beavatkozások eredményeként, ezekben a mellékágakban is helyreálltak az ökológiai és turisztikai szempontból megfelelő vízszintek.

A fenti fejlesztések, kombinálva a tavaszi mesterséges árasztásokkal, jelentős javulást eredményeztek a Szigetköz ökológiai viszonyaiban. Az említett példák is igazolják, hogy az így kialakult mozaikos vizes élőhelyek finomítása,

egyre értékesebbé tétele folyamatos figyelmet és esetként kiegészítő beavatkozásokat igényel.

A kiépített vízpótló-rendszer és a kialakított vízpótlási üzemrend végeredményben napjainkban már jobb hidroökológiai állapotokat biztosít a rendszer által lefedett területeken, mint ami a BNV előtti időkben volt.

#### Mérő- megfigyelő rendszerek, monitoring

A szigetközi vízpótlás előtt a Duna törzshálózati vízminőségi mérési eredményeinek részletes elemzésére több alkalommal is sor került (*Horváth és társai 1981, Varga és társai 1990, Pannonhalmi 1994*). A Duna Magyarország feletti szakaszának terhelései meghatározóak a Szigetközbe érkező víz minőségére. A terhelések csökkenését követő kedvező vízminőség változásokat támasztották alá a rajkai szelvény hosszú idejű adatsorainak elemzése (*Pannonhalmi és Varga 2021*). Megállapították, hogy a Duna vize minőségi szempontból alkalmas a hullámtéri rendszerek vízpótlására. A Szigetközben az egyes mellékágak rendszeres vizsgálatára a 70-es évek végén került sor. A mellékágak a „folyamatos” vízminőségi változása alapján kapták a szigetközi vízterek a későbbiekben a „mozaikos” jelzést (*Várday 1987*). A hullámtéri ágakban a planktonikus eutrofizáció és a trofitással összefüggő kémiai tulajdonságok szélsőségesebben változnak, mint az azokat feltöltő Dunában (*Tamásné Dvihalj 1987*).

#### Vízpótlást követő monitoring tevékenység

A vízpótlást követő 1995 évi *”Megállapodás a Magyar Köztársaság Kormánya és a Szlovák Köztársaság Kormánya között az ideiglenes műszaki intézkedésekről és vízhozamokról a Dunában és a Mosoni-Dunában”*, az úgynevezett *”fenékküszöb egyezmény”* széles körű, átfogó, a fizikai-kémiai és biológiai paraméterekre kiterjedő vizsgálatokat tett lehetővé:

- Felszíni vizek mennyiségi adatai
- Talajvízszint észlelés
- Felszíni vízminőségi monitoring
- Felszín alatti vízminőségi monitoring
- Földtani monitoring
- Medermorfológiai, üledék – és hordalék monitoring
- Felszín alatti vizek utánpótlódása
- A Szigetköz felszínborítási viszonyainak monitoringja
- Szigetközi talajnedvesség monitoring
- Erdészeti monitoring
- Botanikai monitoring
- Hidrobiológiai monitoring
- Alga és moha monitoring
- Zoológiai monitoring

Az Állami Számvevőszék 2021 évi vizsgálatához az MTA Szigetközi Munkacsoportja 1993-2000 közötti tevékenységéről készített beszámolója összefoglalja a szigetközi környezeti monitoring és a fontosabb tanulmányok eredményeit, közreadva a zárójelentéseket és tanulmányok listáját az 1993-1999. időszakra vonatkozóan. (<http://www.szigetkoz.biz/>). A szigetközi vízpótlás közös, szlovák magyar monitoring nemzeti jelentései az 1997-2015 időszakra a <http://www.szigetkozi-monitoring.hu/> honlapon megtalálhatók (*Nemzeti Jelentés 2023*).

Az 1995 év utáni időszakban az 1995 évi megállapodás szerinti vizsgálati monitoring feladatok végrehajtása a források csökkenése miatt egyre korlátozottabbá, adathiányossá vált (*Sütheő 2017*).

#### A monitoring tevékenység napjainkban

A Kormány 2017-ben döntött a szigetközi környezeti/ökológiai monitoring újraindításáról és működtetéséről (*1941/2017. (XII.11.) sz. Kormányhatározat*). Egyetértett a Kormány azzal, hogy a hágai Nemzetközi Bíróság által hozott ítéletnek megfelelően a kétoldalú megállapodás megkötéséig szükséges a korábbi, „fenékküszöb egyezmény” szerinti monitoring folytatása. Felhívta egyben a földművelési minisztert, hogy gondoskodjon a szigetközi monitoring hiányzó elemeinek újraindításáról, az eredmények átfogó értékeléséről, hozzáférhetőségéről, kutathatóságáról. Közreműködő szervezetként a Kormányhatározat a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft.-t nevesítette. A szlovák és magyar fél 2017. novemberi jegyzőkönyvébe foglalta a két oldalon a vizsgálati elemeket, a mérőhelyeket, a vizsgálandó paramétereket, valamint a komponensek körét. A környezet állapotváltozását figyelő monitoring-rendszereket a Szigetközben és a Csallóközben működtetik. A monitor rendszer újraindítása már figyelembe vette a mérőhelyek és vizsgálandó paraméterek és a minősítési igények optimalizációját.

A monitoring során vizsgált elemek:

- A felszíni vizek hidrológiája
- Morfológia, a Čunovo-Vámoszabadi (Medved'ov) Duna szakasz meder morfológiájának értékelése
- A felszíni vizek minősége, ezen belül (fizikai-kémiai mutatók és szerves mikroszennyezők, hidrobiológiai vizsgálatok, klorofil-a, fitoplankton, fitobentosz, makrozoobentosz, makrofiták, halak)
- Üledékvizsgálatok
- Talajvíz szintjei
- Felszín alatti vizek minősége
- Talajnedvesség
- Erdőállományok
- Biológiai megfigyelések.

Az eredményekről az utolsó közös jelentést, beleértve a rendszeres és időszakos vizsgálatokat is 2020-ban fogadta el a környezetügyért felelős magyar államtitkár és a szlovák kormány meghatalmazott (<https://2015-2019.kormany.hu/hu/foldmuvelesugyi-miniszterium>).

A Szigetközben végzett felszíni vizek vízminőségi monitoringja alapján a szigetközi vízpótlásra átadott víz megfelel a követelményeknek, vízminőségi okokból a vízpótlás szüneteltetésére, megváltoztatására nem került sor.

A Víz Keretirányelv hazai bevezetésével szükségessé vált a monitor rendszer átalakítása. A legjelentősebb változásra az ökológiai szemléletmódú állapotértékelés bevezetésével a hidrobiológiai vizsgálatok területén vált szükségessé, ami egyfajta paradigma-váltás volt. A több mint ötven éve végzett vizsgálatok főbb eredményeinek összefoglalására 2021-ben került sor (*Vízügyi Közlemények 2021*). A Duna vízének magyarországi szakaszán a vízminőséget elsősorban a belépő határszelvény határozza meg, az

értékelt komponensek esetében a javulás jelentős volt (Pannonhalmi és Varga 2021).

A Duna, amely a Szigetköznél AEP 443 kódú víztest – a VGT 3 a hidromorfológia (Himo) és biológia együttes hatása alapján megállapított módosított állapot szerint – erősen módosított víztest besorolást kapott (1242/2022 (IV.28. Korm. hat.)). Ennek megfelelően a környezeti célkitűzés a jó ökológiai potenciál, azaz a Víz Keretirányelv előírás szerinti minősített állapot elérése. A kármérséklő munkák célkitűzése a jó ökológiai potenciál eléréséhez:

- az élőhely javítása, megtartva a meglévő az igényeknek megfelelő módosításokat, változtatásokat,
- a kereszt- és hosszirányú átjárhatóság biztosítása, vagyis minden olyan intézkedés megtétele, ami javítja a vízi élőlények vándorlását, szaporodását, táplálkozását (pl. változatos élőhelyek kialakítása az árvízvédelmi töltéseken belül, part átalakítása stb.).

A Szigetköz felszíni vizeinek környezeti célkitűzéseinek eléréséhez, illetve megtartásához a javasolt innovatív vizsgálatok hozzájárulhatnak a szükséges kárenyhítő intézkedések megtételéhez. Az Insula Magna nemzetközi projekt (Insula Magna 2023) egyben lehetőséget ad az alkalmazott módszerek összehasonlítására, az eredmények egységes értékelésére.

A felszíni és talajvízszint adatok, valamint a monitoring vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy

- a BNV beruházás szerződésének felbontását indokló „ökológiai szükséghelyzet” az üzembe helyezés után nem következett be,
- a víztestek minősége követve a Dunai vízállapotokat javuló tendenciát mutat, a tévesen (tudatos félrevezetéssel) előre jelzett drasztikus vízminőség romlás nem következett be,
- a Szigetköz mozaikossága újra épült, a természetes vízjárást szimuláló üzem mellett nem figyelhető meg drasztikus, beszivárgást megakadályozó kolmatáció,
- nem mutatható ki a felszín alatti vízbázisok esetében káros mértékű feliszapolódás,
- az EU keretirányelve által előírt jó állapotok a korábbi természetes állapot visszaállításával előállt.

## AKTUÁLIS TERVEK A SZIGETKÖZ HIDRO-ÖKOLÓGIAI VISZONYAINAK TOVÁBBI JAVÍTÁSÁRA

### Régi meder (Öreg-Duna) revitalizációja (IV. ütem)

A vízpótló-rendszer sikeres működése ellenére maradtak még megoldásra váró feladatok a Szigetközben. Ezek közül a legfontosabb a főmeder revitalizációja. Itt továbbra is az elterelés után kialakult nagyon alacsony vízállások uralkodnak, melyek az alábbi problémákat eredményezték:

- a főmeder jelentős mértékben beerdősült és feliszapolódott, melynek következtében lecsökkent az

árvízlevezető képessége az elterelés előtti állapothoz képest. Nyilvánvalóan ez is hozzájárult ahhoz, hogy a 2013-as árvíz az összes szigetközi vízrajzi állomásnál meghaladta az eddig mért legnagyobb árvízszinteket. Ráadásul, Dunaremete alatt még súlyos vészhelyzet is kialakult, melynek elhárítása komoly védekezési erőfeszítéseket igényelt. Hiába vezetett el tehát 3 200 m<sup>3</sup>/s-os vízhozamot az üzemvízcsatorna (mely nélkül még magasabb szinteken tetőzött volna a Duna a szigetközi szakaszon), a Szigetköz árvízvédelmi biztonsága nem bizonyult olyan mértékűnek, mint amelyet a vízlépcső-projektől eredetileg vártak a tervezők,

- nincs felszíni hidrológiai kapcsolat a főmeder és a hullámtéri mellékágak között. Ilyen körülmények között nem lehetséges a halak laterális mozgása a főmeder és a hullámtéri ív- és táplálkozó- helyek között, pedig valaha a Szigetköz a Duna egyik „halbölcsője” volt. Ezt a funkcióját, kisebb nagyobb mértékben a vízpótlással szabályozott ágrendszerek átvették, de a Szap és Rajka közötti Öreg- Duna-főmedre kizáródott, így ezt a szerepet nem tudja betölteni,
- a főmeder, mint vizes élőhely, továbbra is jóval rosszabb állapotban van az elterelés előtti viszonyokhoz képest.

Komoly kihívás még az üzemvízcsatorna visszatorkolása alatti Duna szakaszon (1811-1790 fkm) észlelt jelentős medersüllyedés. Az üzembe helyezés előtti időszakban a süllyedések oka egyrészt a hajózás érdekében végzett hagyományos folyószabályozási beavatkozások hatása. Az egyoldalú üzembe helyezés, vagyis a megváltozott vízjárás, a Dunacsúnyi duzzasztó és tározó (valamint a folyó felvízi szakaszain működő többi vízlépcső) hatásaként a görgetett hordalék nem jelenik meg a vízlépcső alatti szakaszon. A vízlépcsők utáni állapotokra jellemző hordalékvesztés kedvezőtlen hatásaként, valamint mivel nem épült meg a Nagymarosi vízlépcső – így nincs alsó visszaduzzasztó hatás – a Szap alatti szakaszon elindult a drasztikus kimélyülési folyamat. A medersüllyedések a kapcsolódó mellékágak vízellátásának fokozatos romlását, esetenként megszűnését, a mellékágak kiszáradását, továbbá a talajvízszintek jelentős süllyedését eredményezte. Ezeket a káros folyamatokat az alsó-szigetközi mellékágak vízpótló-rendszerhez történő kapcsolása csak részlegesen el-lensúlyozta.

A főmederrel kapcsolatos problémák megoldására az Insula Magna projekt (Insula Magna 2023) állt elő egy műszaki javaslattal, melynek lényege az, hogy az Öreg-Duna főmedrének a 10. képen jelzett szelvényeiben a dunakiliti fenékküszöbhez hasonló fenékküszöbökkel meg lehet emelni a vízszinteket és így a hullámtéri vízpótlás által megemelt mellékágak vízszintjeivel közvetlenül összekötve biztosítani lehet a kereszt irányú áramlásokat is (Zsuffa és társai 2023). Ezzel a megoldással a főmeder vízviszonyai is a Dunakiliti-Szap közötti Duna szakasz a korábbi – 50-es évekre jellemző – állapotba kerülhetnek.



10. kép. A javasolt fenékküszöbök helyei az Öreg- Dunában (Insula Magna 2023)  
Photo 10. Locations of the proposed bottom sills in the old Danube (Insula Magna 2023)

A fenékküszöbök a duzzasztó hatásuk révén megfelelően magas vízállásokat biztosítanak az eltereléssel érintett szigetközi Duna szakasz mentén, még olyankor is, amikor csak a minimális vízhozam kerül átadásra Dunacsúnynál. Segítségükkel bizonyos mellékágak esetében, lehetővé válik az alsó ágvéglezárások visszabontása és ekképpen a főmeder és a hullámtér közötti hidroökológiai kapcsolat helyreállítása, majd folyamatos fenntartása. Ez várhatóan megnyitja az utat halak laterális migrációjára, ami alapvetően fontos feltétel a Szigetköz „halbölcső” funkciójának újraélesztéséhez.

Halak hossz-menti migrációját a fenékküszöbök igen lapos alvízi rézsűi biztosítják. Ekképpen a fenékküszöbök „durva rámpa” típusú halátjárókként is funkcionálnak.

A küszöbök duzzasztásának további kedvező hatása az, hogy a Duna főmedre újra teljes szélességében víz alá kerül, melynek következtében megszűnik meder árvizek levezetését akadályozó benótság is.

A küszöbök persze új akadályokat is jelentenek az árvizek levezetésében. A javasolt megoldás erre a problémára az, hogy előre tervezett módon, több helyen vissza kell bontani a főmederrel párhuzamosan húzódó – a hullámtéri mellékágakat a Duna főmedrétől ma még elválasztó – elzárásokat azzal a céllal, hogy az így megnyitott mellékágak árvízkor jelentős mértékben tehermentesítsék a főmedret.

Mindez persze gondos tervezést igényel, mely nem nélkülözheti a 2/3D hidrodinamikai és vízminőségi modellezés alkalmazását. E munkák jelentős része az Insula Magna projekt (Insula Magna 2023) keretein belül valósul meg. A projekt egyik végcélja egy elvi vízjogi engedélyezési terv szintű tervtervezlet kidolgozása a Duna szigetközi főmedrének fent bemutatott átalakítására. Az előkészítési munkákat az OVF koordinációjával az ÉDUVIZIG és a győri Széchenyi István Egyetem végzi.

A Szap alatti szakaszon (üzemvízcsatorna visszatorkolása alatt) a folyómeder süllyedésének problémája egy megoldásra váró, nagyon komoly szakmai feladat, amely Magyarország és Szlovákia együttműködését igényli. Itt csak egy Dunai alsó vízlépcső (Nagymaros vagy Pilismarót) duzzasztása lehet a megoldás.

A Szigetközi vízpótlás egy mesterségesen előállított, folyamatos szabályozással működő rendszer, mely egy egész térség vízállapotait szabályozza, folyamatosan felügyelve azt. A korábbi természetes állapotok (kisvíz, középvíz, árvíz) létrehozásával, megteremtve az egész térség mozaikos élettereit is, lehetőség nyílik az egyre értékesebb (pl. fokrendszerek) vízállapotok kialakítására. Ez a víz-

pótló rendszerek folyamatos, rugalmas, nagy odafigyelést igénylő üzemeltetését feltételezi, valamint a rendszeren belül a folyamatos finomhangolások igényli.

## IRODALOMJEGYZÉK

*Digitális Képtár (2023).* pannoniansea\_currentborders\_nagykep.jpg (1465×1061) (oszk.hu) Letöltve: 2023.12.07.

*Duna Védelmi Egyezmény (1974).* Egyezmény a Duna védelmére és fenntartható használatára irányuló együttműködésről, Szófia. [http://www.icpdr.org/icpdr-pages/navigation\\_and\\_ecology\\_process.htm](http://www.icpdr.org/icpdr-pages/navigation_and_ecology_process.htm)

*ÉDUVIZIG (2016).* Szigetközi Vízpótló Rendszer fejlesztésének hatása a talajvízre (ÉDUVIZIG Intézkedési Terv SZ-5 feladat).

*ÉDUVIZIG (2023).* Mosoni-Duna torkolati mű – 2022. március-április havi próbaüzem – Hidrológiai, áramlástan, morfológiai és felszín alatti vizes monitoring mérések és értékelés.

*Ficsor J., Mohácsiné Simon G. (2013).* Szigetköz felszíni víz és talajvíz viszonyainak jellemzése az ÉDUVIZIG monitoring hálózatának mérései alapján. Magyar Hidrológiai Társaság XXXI. Országos Vándorgyűlése. Gödöllő, 2013. július 3-5.

*Holubová, K., Comaj, M., Lukác, M., Mravcová, K., Capeková, Z., Antalová, M. (2015).* Final report in DuRe Flood project - 'Danube Floodplain Rehabilitation to Improve Flood Protection and Enhance the Ecological Values of the River in the Stretch between Sap and Szob, Bratislava.

*Horváth L., Pannonhalmi M, Várday N. (1981).* Duna vízminőség változás 1968-1978. Vízügyi Közlemények 63. évf. 4. sz. pp. 506-520.

*Insula Magna projekt (2023).* <https://insulamagna.sze.hu/kezdooldal>

*Kertész J. (1996).* A hullámtéri vízpótló-rendszer kialakítása MHT XIV. Vándorgyűlés (A Magyar Hidrológiai Társaság XIV. Országos Vándorgyűlése I. kötet (Sopron, 1996. május 21-24.).

*Kertész J. (2015).* A Szigetközi vízpótló-rendszer térbeli kiterjesztése és a hatékonyságának a növelése. Magyar Hidrológiai Társaság XXXIV. Országos Vándorgyűlése. Szombathely, 2015. július 1-3.

*Magyar Nemzeti Jelentés (2015).* MAGYAR NEMZETI JELENTÉS az 1995. április 19.-i Kormányközi Megállapodásban meghatározott Közös magyar-szlovák monitoring 2015. évi tevékenységéről – Felszíni vizek mennyisége – Felszín közeli vizek mennyisége <https://szmp.hu/node/188>

*Nemzeti Jelentés (2023).* A szigetközi vízpótlás közös, szlovák magyar monitoring nemzeti jelentései az 1997-2015 időszakra, <http://www.szigetkozi-monitoring.hu/>

*Németh J. (2016).* A szigetközi vízpótlás vízügyi eredményei, várható fejlesztések. Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság. Előadásanyag. (<https://docplayer.hu/110873514-A-szigetkozi-vizpotlas-vizugyi-eredmenyei-varhato-fejlesztések-eszak-dunantuli-vizugyi-igazgatóság-nemeth-jozsef-igazgato.html>)

*OVF alaptérkép.* <http://geoport.al.vizugy.hu/vizkeszletvedelem/index.html>

*Pannonhalmi M. (1994).* Veraenderungen im Donauraum – Aenderungen der Wasserqualitaet. Limnologische Berichte Donau 1994. EAWAG Dübendorf - IAD Wien.

*Pannonhalmi M., Varga P. (2021).* A vízügyi szolgálat vízminőség vizsgálatának 50 éve Magyarországon a Duna példáján. Vízügyi Közlemények, CIH. évfolyam 2021. évi 1. füzet

*Sütő L. (2017).* Szigetköz monitoring múltja, jelene, jövője. MTA VEAB Biológiai Szakbizottság Vízgazdálkodási Munkabizottsága, Szombathely 2017.

*Szigetközi Hullámtéri vízpótló-rendszer (2001).* Vízjogi üzemeltetési engedély, száma: (20923/2001) H-15 171-2/2010

*Tamásné Dvihalj Zs. (1987).* A kisalföldi Duna-szakasz ökológiája, p. 232. ISBN: 963712182X

*Varga P., Ábrahám M., Simor J. (1990).* Water quality of Danube in Hungary. Wat. Sci.Tech.22. pp.113-118. <https://doi.org/10.2166/wst.1990.0018>

*Várday N. (1987).* A kisalföldi Duna-szakasz hidrológiai, hidrográfiai és vízkémiai viszonyai. VEAB. 1987.

*VÍZIMOLNÁR (2001).* Talajvízgazdálkodási koncepció kidolgozása az Osztrák, Szlovák, Magyar határmenti területen (PHARE Project ZZ9621-02 L001)

*Vízügyi Közlemények (2021).* AZ ORSZÁGOS VÍZÜGYI FŐIGAZGATÓSÁG KIADVÁNYA VÍZÜGYI KÖZLEMÉNYEK 2021.1. szám.

*Zsuffa I., Szöllősi-Nagy A., Bogárdi J. (2023).* Insula Insolita – Szigetköz és Bős-Nagymaros párhuzamos története. Hidrológiai Közölny, 103/2. pp. 4-23. <https://doi.org/10.59258/hk.11537>

*III. KEOP (2011).* „Szigetközi mentett oldali és hullámtéri vízpótló rendszer ökológiai célú továbbfejlesztése” című, III. KEOP-2.2.4/2f/09-2011-0004 (2011) projekt dokumentációja

*1242/2022 (IV.28.)* Kormány határozat: Hivatalos Értesítő 2022. 23. szám.

[http://www.szigetkoz.biz/honlap/bevezetes\\_tk.htm](http://www.szigetkoz.biz/honlap/bevezetes_tk.htm)

<https://2015-2019.kormany.hu/hu/foldmuvelesugyi-miniszterium>

<https://hu.wikipedia.org>

<http://www.szigetkoz.biz/valtozas/talajviz/main-page.htm>

## A SZERZŐK



**JAKUS GYÖRGY** okleveles vízépítő mérnök (BME 1970), folyami víz- építő szakmérnök (BME 1977). 1970-től az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Rábai Főépítés-vezetőségének munkavezetője, majd 1972–1975 között a szervezet vezetője lett. Ezt követően a VIZIG Szigetközi Szakmérnökségét vezette 1980-ig. 1982–1991 között a VIZIG műszaki igazgatóhelyettese, majd 1999-ig igazgatója volt. 2000-től az OVF Vízgazdálkodási és Informatikai Főosztály vezetője, majd az OVF főigazgató-helyettese lett 2012-es nyugdíjba vonulásáig. Működésének főbb szakterületei: a folyószabályozás, a szigetközi vízgazdálkodás, az árvíz- és belvízvédekezés, a vízügyi szakigazgatás informatikai fejlesztése, illetve a vízügyi nagyberuházások műszaki irányítása. Díjai: 2002-ben Vásárhelyi Pál- díj (2002), Magyar Köztársasági Arany Érdemkereszt (2014), Mosonyi Emil díj (2020). Az MHT-nek 1975 óta tagja.



**KERTÉSZ JÓZSEF** okleveles vízépítő mérnök (BME 1978), okleveles építőipari gazdasági mérnök (BME 1982). 1978-tól 2015-ig az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóságnál dolgozott, közben három évig a GNV kirendeltség, majd 22 évig a Szigetköz-vezetője. Aktív résztvevő a Szigetközben végzett rehabilitációs munkák, a Szigetközi hullámtéri és a mentett oldali vízpótló-rendszerek kiépítésében és az üzemeltetésében. 2018-tól óraadó a győri Széchenyi István Egyetemen. 2022-től a Szigetköz Natúrpark Egyesület elnökségi tagja, alelnök. Díja, kitüntetése: Lampl Hugó díjas (2005), Pro Aqua díj (2023), Magyar Ezüst Érdemkereszt (2022), Gróf Széchenyi Ferenc díj (2023). Az MHT-nek 1978 óta tagja



**MOHÁCSINÉ SIMON GABRIELLA** okleveles hidrogeológus, a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen diplomázott. 1996-ban vízgazdálkodási szakmérnöki képesítést szerzett. 1982. szeptemberétől az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság dolgozója. Ügyintéző majd csoportvezető, 1998-tól a Vízvédelmi és vízgújító-gazdálkodási osztály munkáját irányítja, osztályvezetőként. Főbb tevékenysége az ÉDUVIZIG területén az államigazgatási feladatokon túl különösen a felszín alatti vízkészlet-gazdálkodás feladatai, víz-beszerzési szakvélemények, vízkészletek állapotának értékelése, vízbázis-védelem, projektek kezelése, irányítása. 1982-től a Magyar Hidrológiai Társaság tagja. Szakértőként évtizedek óta részt vesz az magyar-osztrák és a magyar-szlovák határvízi bizottságok munkájában. 2015 óta a Magyar-Osztrák Vízminőségi Állapotértékelő Szakértői Munkacsoport magyar tagozatának vezetője. Díjak, kitüntetések: Vásárhelyi Pál emlékérem I. fokozat (2001.), Miniszteri Elismerő Oklevél (2004.), Felszín Alatti Vizekért Alapítvány ezüstpohár díja (2017.), Országos Vízügyi Főigazgatóság Főigazgatója szakterületi érem (2020.)





**PANNONHALMI MIKLÓS** egyetemi tanulmányait Lengyelországban, Olsztyn, Műszaki-Agrártudományi Egyetem Vízvédelem és Belvízi Halászati Karán magiszteri fokozattal (1971) majd a Veszprémi Vegyipari Egyetem Környezetvédelmi Szakmérnöki Kar posztgraduális képzésen szerzett okleveles környezetvédelmi mérnöki diplomát (1977). 1971- 1973 a szarvasi Haltenyésztési Kutató Intézet tudományos segédmunkatársa. 1973-2012 Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóságon hidrobiológus, osztályvezető, igazgató-helyettes főmérnök, majd nyugdíjas szakértő. 2001-2008 között a Nemzetközi Limnológiai Társaság (SIL) Nemzetközi Duna-kutató Munkacsoport /IAD/, a Fizika/Kémia Munkacsoportját vezette. Egyetemi oktatást végzett a Soproni Egyetemen és a győri Széchenyi István Egyetemen. Több évtizeden át a Magyar-Oszták Határvízi Bizottság szakértője volt. A Magyar Köztársasági Ezüst Érdemkereszt, a II. osztályú Honvédelemért kitüntető cím, a Pro Aqua, az FM által adományozott bronz Életfa, valamint a Vásárhelyi Pál, és az MHT által adományozott a Schafarzik Ferenc díj tulajdonosa. 2023-ban megkapta a Magyar Arany Érdemkeresztet.



*Az Ásványrárói hallépcső (Fotó: Kertész József)*

## Egy dimenziós hidrodinamikai modell fejlesztése a Tisza hazai szakaszára

Liptay Zoltán Árpád

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Vízudományi Kar, 6500 Baja, Bajcsy-Zsilinszky u. 12-14.  
(e-mail: liptay.zoltan.arpad@uni-nke.hu)

DOI: 10.59258/hk.15074



### Kivonat

Az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) keretében működő Országos Vízjelző Szolgálat (OVSZ) 2020 januárjában helyezte üzembe saját fejlesztésű 1 dimenziós hidrodinamikai modelljét a Duna hazai szakaszára és a 2023 év elejére elkészült a Tisza modellje is. A cél az évtizedek óta használatban lévő kaszkádmodell (DLCM) támogatása egy hidrodinamikai alapú megközelítéssel, ami pontosabb előrejelzés alapja lehet. Az elkészült modell tartalmazza a Tiszát Tiszabecstől Törökbecséig (Novi Bečej), valamint a mellék-vízfolyásainak hazai szakaszát, és folyamatban van a külföldi folyószakaszokra történő adatgyűjtés és kiépítés. A Tisza vízgyűjtő hidrológiája komplex, emiatt különböző szakaszain egyidejű tetőzések alakulnak ki. Ennek oka többek között, hogy mellékvízfolyásainak vízjátéka igen nagy és akár egy időben is számottevő vízhozamot hozhatnak részvízgyűjtőikről. A vízrendszer természetes lefolyási viszonyai a vízlépcsők hatására megváltoztak, így mind a mellékág torkolatok környéki, mind pedig a vízlépcsők feletti duzzasztott szakaszok figyelembe vétele szükséges az árhullámok megfelelő transzformációjához. Ez magával hozza a vízszintszabályozó műtárgyak helyes leképezését olyan hidraulikai egyenletek formájában, amelyek behelyettesíthetők a Saint Venant egyenletekből álló egyenletrendszerbe. A tanulmányban bemutatjuk a modell felépítését, a modellépítés során felmerült nehézségeket, az elért eredményeket, azok összehasonlítását a Tisza-völgyi Árvízvédelmi Elemző Központ HEC-RAS modelljének eredményeivel, valamint az OVSZ által kiadott előrejelzésekkel és szimulációs eredményekkel. Részletezzük azokat a kihívásokat, melyekkel egy ilyen modell operatív használata során szembesül az előrejelző.

### Kulcsszavak

Hidrológia, hidrodinamika, 1D, modellezés, Tisza, előrejelzés.

## 1D hydrodynamic modelling on River Tisza: challenges, results, difficulties

### Abstract

The Hungarian Hydrological Forecasting Service (HHFS) operating within the framework of the National Water Directorate General has been operating a tailor-made 1 dimensional hydrodynamic model on River Danube since January 2020, while developing the model onto River Tisza, which was completed by the beginning of 2023 as well. The main objective of the development is to support and substitute the already running discrete linear cascade models (DLCM). The model contains the Tisza between Tiszabecs and Novi Bečej and all the Hungarian reaches of the tributaries. Data collection and model building are still in process on the foreign river reaches. The Tisza catchment has a complex hydrology often causing multiple flood peaks simultaneously along the river. The tributaries have a highly dynamic regime and all of the subcatchments can release significant discharges at the same time. The natural conditions for flood propagation had been modified due to the hydropower plants thus backwater effect is a major factor at the hydraulic structures and at the confluences. Modelling such structures requires the substitution of the Saint Venant equations with the basic hydraulic formulas. In this paper I present the building process of the model, the challenges I had to face and the achieved results. The results are then compared to the results of a HEC-RAS based system (Tisza Valley Flood Protection Analysis Center), to the forecasts published by the HHFS, and also to the pure DLCM results.

### Keywords

Hydrology, hydrodynamics, 1D, modelling, Tisza, forecast.

### BEVEZETÉS

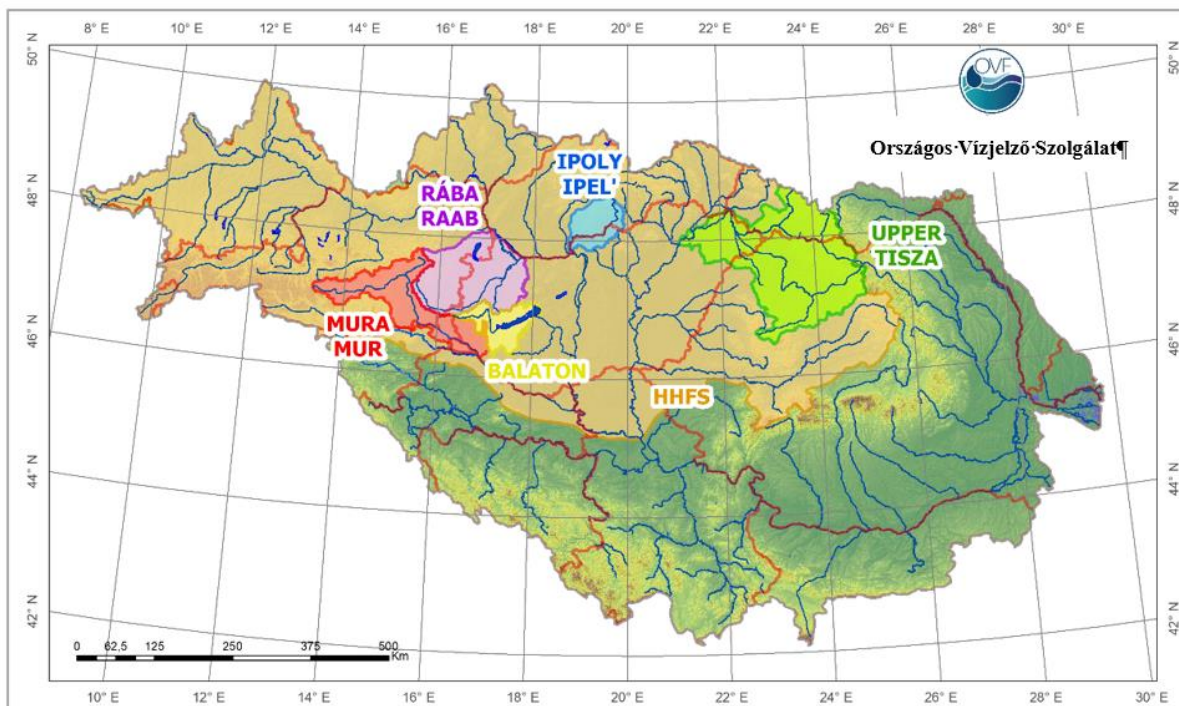
Az elmúlt években a nagyvizek előrejelzése mellett egyre fontosabb lett a kisvízi vízállások minél pontosabb előrejelzése is. Ezt a vízhiányos időszakok súlyosbodása, és egyre gyakoribb előfordulása indokolja (Stagge és társai 2017, Cammalleri és társai 2020, Lhotka és társai 2020). Egy hosszabb időelőny mellett is megbízható előrejelzéssel időben felismerhető a kockázat, és a védekezés tervezésével és végrehajtásával mérsékelhető a kár. Így a szakmai döntéshozás részéről mind gyakrabban elvárás a hazai hidrológiai előrejelző rendszereinkkel szemben a folyamatos üzem, a megbízható üzemelés és a kielégítő jóságú előrejelzés a vízjárás teljes tartományában. Ez az adott vízfolyás hidrológiai folyamatainak ismeretét, megfelelő adattelátottságot, és egy kellően kidolgozott előrejelző rendszert igényel. Napjainkban már az előrejelző rendszerek

igen széles spektrumon mozognak, sőt a mesterséges intelligencia eszköztárának kiaknázásával újabb és újabb távlatok nyílnak (Liptay 2022, Chang és társai 2023, Di Nunno és társai 2023, Nearing és társai 2023).

Hazánkban több valószerű előrejelző rendszer üzemel, melyek különböző módszerekkel, más-más időelőnyvel jeleznek előre. Ezek a vízügyi igazgatóságok által üzemeltetett Rába, Mura, Ipoly, Felső-Tisza, és Balaton előrejelző rendszerek. A legnagyobb kiterjedésű az Országos Vízjelző Szolgálat (OVSZ) által fejlesztett és üzemeltetett OLSER rendszer (Országos Lefolyás Szimulációs és Előrejelző Rendszer) (1. ábra). Ez a rendszer a Duna Tisza torkolat feletti teljes vízgyűjtőjét lefedi, és 6 napos időelőnyvel, 6 órás időlépcsőkben szolgáltat vízállás és vízhozam előrejelzést a főbb hazai vízmércékre. Az OLSER-rel végzett számítások során a hidrológiai transzformáció

diszkrét lineáris kaszkádmoddellel (DLCM) történik (Kalinin és Milyukov 1957, Nash 1960, Szöllősi-Nagy 1982, Szilágyi és Szöllősi-Nagy 2008, Szilágyi és Laurinyecz 2014), melynek előnyei a gyorsaság, a könnyű paraméterezhetőség, hátrányai pedig a merev modellszerkezet és a paraméterek függése az időlépcsőtől. A kaszkádmoddell rendkívül jól illeszthető a hazai folyóinkra, de mivel a vízhozamok transzformációját végzi, a vízállá-

sokat pedig utólag permanens módon számítjuk, így minden olyan esetben romlik a pontossága, amikor a vízfelszín esése jelentős szerepet játszik. A leggyakoribb ilyen esetek a duzzasztott vízterek, mint például a vízlépcsők felvizen lévő mércék, vagy a mellékvízfolyások torkolat közeli szakaszai. Ilyen mérceszelyvényekben a duzzasztott vízszint számítása utólagos korrekcióval történik.



1. ábra. Hazai hidrológiai előrejelző rendszerek  
Figure 1. Hungarian hydrological forecasting systems

Az OLSER két alrendszerre tagolódik, a Duna és Tisza részmodellekre. A Tisza vízrendszerének több olyan jellegzetessége is van, ami nehezíti a kaszkádmoddell használatát, így a modell pontossága elmarad a Duna modelltől. Ilyenek például a vízszintszabályozó műtárgyak, a beduzzasztott folyótorkolatok, vagy akár az egyidejű, egymásra ható árhullámok levonulása. Az OLSER kiegészítéseként a 2020-as év januárjában üzembe állítottunk egy szintén saját fejlesztésű 1 dimen-

ziós (1D) hidrodinamikai modellt (Liptay és Gauzer 2021). A modell célja a kaszkádmoddell konceptuális megközelítésével szemben egy pontosabb, hidrodinamikai alapú árhullám-transzformációs számítás, ami jelentősen növelheti az előrejelzés jóságát. A közel két és fél éven tapasztalatai alapján, a Dunán a két módszer közel azonos teljesítményt mutat (1. táblázat), az általuk számított előrejelzések négyzetes középhibája csak milliméterekben tér el, többnyire a kaszkádmoddell javára.

1. táblázat. A vízállás előrejelzés négyzetes középhibái Budapestenél a 2021, 2022, és 2023 években, 1-6 napos időelőnyre (cm)  
Table 1. The RMSE (root mean square error) of water level forecast at Budapest in 2021, 2022, 2023 for 1-6 days of lead time (cm)

módszer	1 nap	2 nap	3 nap	4 nap	5 nap	6 nap
<b>2021 (01.01.-12.31.)</b>						
DLCM	4,479	12,54	21,11	27,08	31,84	35,23
1D	4,55	13,94	22,85	28,91	33,96	37,25
<b>2022 (01.01.-12.31.)</b>						
DLCM	3,526	9,388	14,15	20,54	25,75	28,99
1D	4,206	11,34	16,11	21,14	25,88	28,97
<b>2023 (01.01.-05.02.)</b>						
DLCM	3,633	9,787	18,08	25,06	29,57	31,94
1D	4,588	10,59	17,71	26,18	31,50	33,70

Az eltérés oka feltehetőleg a két módszer eltérő hibakorrekciója. Míg az 1D modell az előrejelzés időpontjában számolt hibát konstansként végig viszi a teljes időelőnyön, addig a kaszkádmoddell kifinomultabb korrekciós eljárásai változtat-

ják a hiba mértékét a vízjárás függvényében. Ezen eljárások áttemelése az 1D modellbe folyamatban van. Jelen tanulmány célja a Tisza modell építése során tapasztalt nehézségek és kihívások ismertetése, és az aktuális eredmények bemutatása.

## ESZKÖZÖK ÉS MÓDSZEREK

### Alapegyenletek

Az OVSZ által fejlesztett 1 dimenziós hidrodinamikai modell a Saint Venant egyenletrendszer az implicit Preissmann séma Verwey-féle változtatásával diskretizálja, és végül a linearizált egyenletrendszer a double sweep módszerrel (Thomas-algoritmus vagy ingamódszer) oldja meg (Preissmann 1961, Abbott 1979, Cunge és társai 1980, Abbott és Basco 1989).

A folytonossági egyenlet ismert alakja:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

A dinamikai egyenlet:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \beta \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} - S_0 + S_f + S_e \right) = 0 \quad (2)$$

Ahol  $h$  a vízmélység (m),  $Q$  a vízhozam ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $\beta$  a momentum korrekciós tényező (-),  $B$  a vízfelszín szélessége (m),  $A$  a nedvesített szelvényterület ( $\text{m}^2$ ),  $\partial x$  a számítási keresztzelvények távolsága (m),  $\partial t$  az időlépés (s),  $g$  a nehézségi gyorsulás ( $\approx 9.80665 \text{ m/s}^2$ ),  $S_0$  a fenékesés (-),  $S_f$  a súrlódásból származó esés (-),  $S_e$  az energiavonal kontrakcióból és expanzióból származó esése (-),  $K$  a vízvezető-képesség ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $R$  a hidraulikus sugár (m),  $q$  a hozzáfolyás [ $\text{m}^3/(\text{s m})$ ].

A vízvezető-képesség, a súrlódásból származó esés, és az energiavonal esése az alábbiak szerint írható fel:

$$K = kAR^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

$$S_f = \frac{Q|Q|}{K^2} \quad (4)$$

$$S_e = \frac{K_{ec} \left( \frac{\partial Q}{\partial x} \right)^2}{2g} \quad (5)$$

Ahol  $k$  a meder simasági együtthatója ( $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ )  $K_{ec}$  az expanziós vagy kontrakciós együttható (-).

A parciális deriváltak diskretizálása a Preissmann séma szerint:

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \theta \frac{f_{i+1}^{j+1} - f_i^{j+1}}{\Delta x} + (1 - \theta) \frac{f_{i+1}^j - f_i^j}{\Delta x} \quad (6)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} \approx \psi \frac{f_{i+1}^{j+1} - f_i^j}{\Delta t} + (1 - \psi) \frac{f_{i+1}^{j+1} - f_{i+1}^j}{\Delta t} \quad (7)$$

$$\bar{f} \approx \frac{\theta}{2} (f_{i+1}^{j+1} + f_i^{j+1}) + \frac{1-\theta}{2} (f_{i+1}^j + f_i^j) \quad (8)$$

Ahol  $\theta$  és  $\psi$  súlyszámok (-), értékük 0 és 1 közötti.

„A számítási gyakorlati szempontok a folyami hidraulikában” témájú könyv társszerzője, Verwey a dinamikai egyenlet nemlineáris tagjainak kompakt és robosztus közelítését javasolta (Cunge és társai 1980). A konvektív gyorsulás az ő felírása szerint:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \beta \frac{Q^2}{A} \right) \approx \beta \left[ \theta \frac{Q_{i+1}^j \times Q_{i+1}^{j+1}}{\Delta x \cdot A_{i+1}^{j+1/2}} - (1 - \theta) \frac{Q_i^j \times Q_i^{j+1}}{\Delta x \cdot A_i^{j+1/2}} \right] \quad (9)$$

A fenéksúrlódás:

$$gA \frac{Q|Q|}{K^2} \approx g \left[ \psi \cdot A_{i+1}^{j+1/2} \frac{Q_{i+1}^{j+1} |Q_{i+1}^j|}{(K_{i+1}^{j+1/2})^2} + (1 - \psi) \cdot A_i^{j+1/2} \frac{Q_i^{j+1} |Q_i^j|}{(K_i^{j+1/2})^2} \right] \quad (10)$$

A double sweep módszer egy széles körben elterjedt eljárás lineáris egyenletrendszer megoldásához. A diskretizált alapegyenletünket átrendezzük úgy, hogy megkapjuk az ismeretlen pentadiagonális mátrixát ( $Q_{i+1}^{j+1}, h_{i+1}^{j+1}, Q_i^{j+1}, h_i^{j+1}$ ), és az ismert változók vektorát ( $Q_{i+1}^j, h_{i+1}^j, Q_i^j, h_i^j$ ). Általános vektoriális alakban a linearizált rendszer így írható fel:

$$\bar{P} \cdot \bar{F}_i^{j+1} = \bar{E}_i^j \quad (11)$$

Ahol  $\bar{F}_i^{j+1} = \begin{bmatrix} Q_i \\ h_i \end{bmatrix}^{j+1}$  és  $\bar{E}_i^j = \begin{bmatrix} E1_i \\ E2_i \end{bmatrix}$ ,  $\bar{P}$  az együtthatómátrix. A módszer két új egyenlet bevezetését igényli, ezek:

$$Q_i^{j+1} = F1_i h_i^{j+1} + G1_i \quad (12)$$

$$h_i^{j+1} = P1_i Q_{i+1}^{j+1} + Q1_i h_{i+1}^{j+1} + R1_i \quad (13)$$

Ahol  $F1, G1, P1, Q1$ , és  $R1$  a linearizált együtthatókból származtatható rekurzív változók. A számítás minden részlete megtalálható Cunge és társai (1980) és Abbott és Basco (1989) munkáiban.

Az alapegyenletek megoldásán túl a modell számos kiegészítést tartalmaz, ezek például:

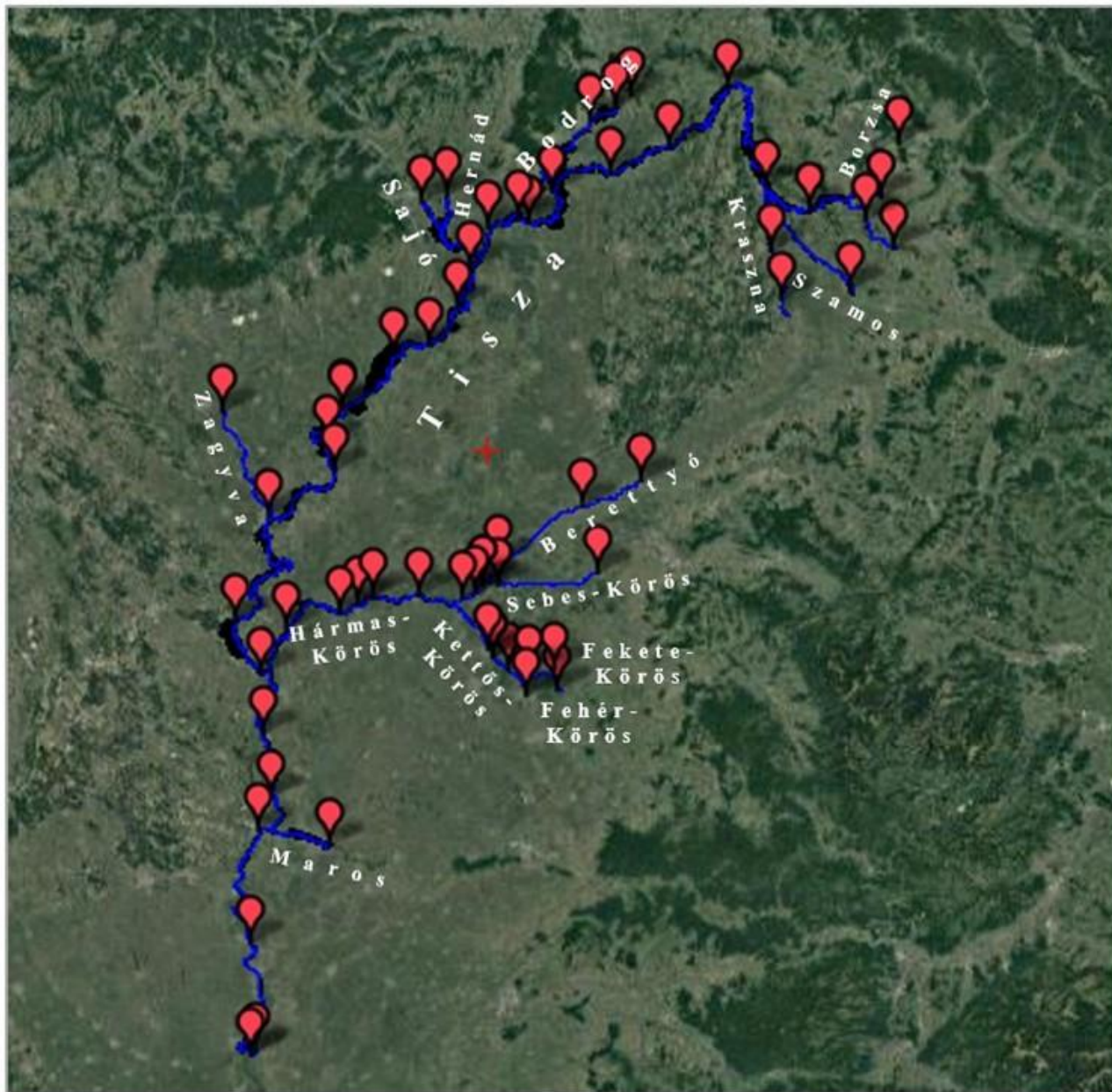
- a keresztzelvény adatok feldolgozása és kezelése,
- a komplex topológiák kezelése a csomóponti törvények segítségével,
- érdességek hosszirányú és vertikális változásának leírása,
- a kiszáradt meder kezelése szelvényterület megtartó Abbott-slot segítségével (Abbott és Basco 1989),
- a rohanó vízmozgás számítása a lokális parciális inercia módszerrel (Fread és Lewis 1998),
- a műtárgyak – h-ra és Q-ra való hatásának – számítása hidraulikai összefüggésekkel,
- a mért vízállás adatok hosszmentén folytonos asszimilációja és hibakorrekció,
- párhuzamos számítás többmagos számítógépeken,
- és autokalibrációs eljárás egy mesterséges neurális háló segítségével, ami az észlelések alapján számolt hibák és az érdességek közötti kapcsolat felállításával optimalizálja a modellt.

### Felhasznált adatok

Az 1D hidrodinamikai modellnek két fajta adatszüksége van, egyik a keresztzelvények adatbázisa, a másik pedig egy vízrajzi adatbázis a mellékfeltételek előállításához. A keresztzelvények nyers adatai a Tisza-völgyi Árvízvédelmi Elemző Központ (TÁREK) rendszerében üzemelő HEC-RAS modelltől származnak, de ezek a feldolgozás során átesnek egy automatikus ellenőrzésen, ami kiválasztja az előírt sűrűségű szelvényeket, levágja a felesleges szelvényvegeket, kijelöli a középvízi meder határait, valamint a hullámtérhez tartozó átlagos szintet. A feldolgozási folyamat során előáll egy több dimenziós mátrix, amely szelvényenként tartalmazza a későbbi számításokhoz szükséges hidraulikai paramétereket 25 cm-es vertikális felosztással. Így az olyan egyszerű változók meghatározása, mint például a nedvesített szelvényterület, vagy a hidraulikus sugár, nem igényel összetett számítási műveletet, csak két érték kiolvasását a mátrixból és a köztük tör-

tendő lineáris interpolációt a tényleges vízszint alapján. Ez jelentős mértékben gyorsítja a számítási algoritmust, és

közben a vertikális egyszerűsítés gyakorlatilag nem ront az eredményeken.



2. ábra. A modellezett vízrendszer vázlatos helyszínrajza (piros jelölők: vízmércék)  
Figure 2. The schematic overview of the model (red pins: gauging stations)

A modell a helyszínrajzi vonalvezetés megadását nem igényli, mert a keresztaszvénnyek pontjainak koordinátáiból ábrázolni tudja a folyórendszert (2. ábra), az ágak kiosztását és a kapcsolódásukat a modellező a vezérlő fájlban definiálja. A Tisza modell jelenleg 4220 szelvénnyel tartalmaz, az átlagos számítási szelvénytávolság a Tiszán 100-200 méter, a mellékfolyókon 300-1000 méter. A modellezett vízrendszer az alábbi folyószakaszokat tartalmazza.

A modell a Tiszán Tiszabecstől a törökbecsei duzzasztóig tart és tartalmazza valamennyi lényeges mellékvízfolyás hazai szakaszát az országhatárhoz legközelebb eső magyar mérceaszvénnyig. A lehetőleg ritkább szelvénnyel osztás mellett az egyszerű modellszerkezet is azt a célt szolgálja, hogy a számítást minden esetben stabilan, – a

gyakorlatban elfogadható előrejelzési hibával – minél nagyobb időlépcsővel el lehessen végezni. Mivel nem esettanulmányról, hanem egy operatív használt eszközről van szó, így fontos kritérium a robusztusság és a számítási sebesség, mert több változat gyors kiértékelésére is lehet szükség egy-egy döntési helyzetben.

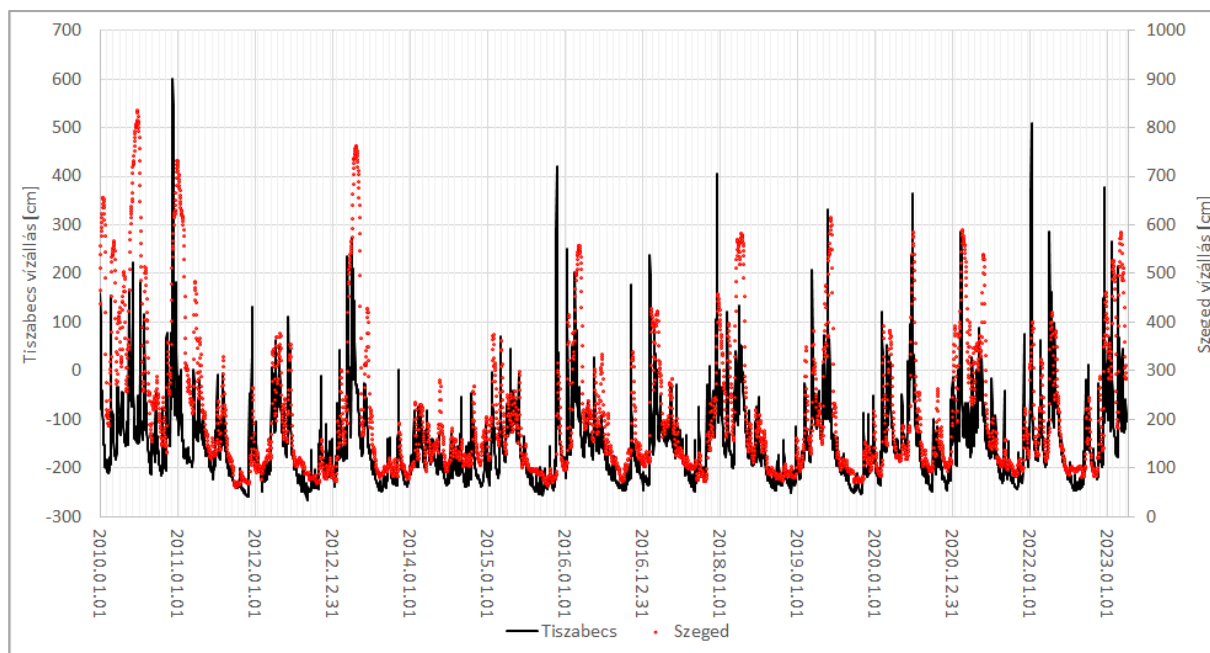
A vízrajzi adatok a modell számára közvetlenül hozzáférhetők, mert az OVSZ operatív adatokat tartalmazó bináris állományait eléri, így azokból 1994-től tud idősorokat kiolvasni. A modellépítés során 3 különálló időszakot vizsgáltunk: 2010. december, 2021. december, és egy hosszabb időszak több árhullámmal 2022. november 20-tól 2023. március végéig. Nem különböztettünk meg hagyományos értelemben vett kalibrációs és validációs időszakokat, mert az elmúlt 13 évben

(3. ábra) a vízgyűjtő az összetett hidrológiája miatt számos egymástól eltérő nagyvízi helyzetet teremtett, így valamennyi új

információt először a modell vízszint alapú igazolásához, majd további bearányításához használtunk fel.

2. táblázat. A modellezett vízrendszer szakaszai  
Table 2. The modelled reaches

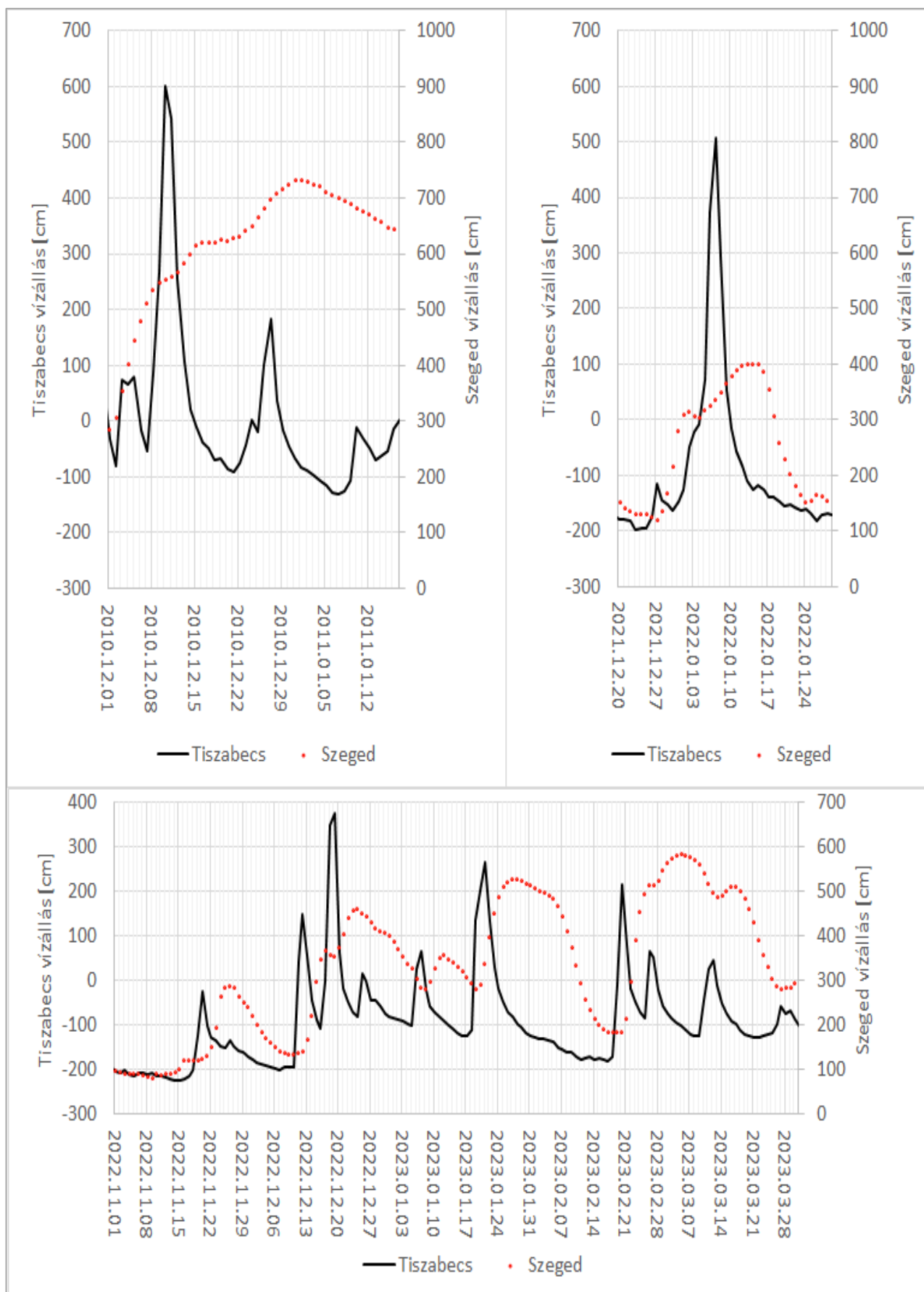
Sorszám	Név	fkm-től	fkm-ig	Sorszám	Név	fkm-től	fkm-ig
0	Tisza	727,2	744,3	15	Sajó	0	31,631
1	Borzsa	0,87	32,07	16	Tisza	437,594	492
2	Tisza	724,024	727,2	17	Tisza	335,706	437,594
3	Túr	0,089	29,808	18	Zagyva	0,06	54,947
4	Tisza	685,8	724,024	19	Tisza	243,395	335,706
5	Szamos	0,142	49,996	20	Berettyó	0,134	68,193
6	Tisza	682,4	685,8	21	Sebes-Körös	14,399	54,799
7	Kraszna	0,375	46,205	22	Sebes-Körös	0,102	14,399
8	Tisza	650,897	682,4	23	Fekete-Körös	0,094	20,4
9	Tisza	620	650,897	24	Fehér-Körös	0,149	4,796
10	Tisza	544,607	620	25	Kettős-Körös	0,096	37,316
11	Bodrog	0,88	47,74	26	Hármas-Körös	0,8	91,2
12	Tisza	492	544,607	27	Tisza	176,86	243,395
13	Sajó	31,631	51,172	28	Maros	0,076	24,5
14	Hernád	0,1	25,198	29	Tisza	61,728	176,86



3. ábra. A tiszabecsi és szegedi vízállások időszora 2010. január és 2023. március között  
Figure 3. The time series of water levels at Tiszabecs and Szeged between January 2010 and March 2023

A három kiválasztott időszak vízállás idősorait az 4. ábra mutatja és ezen látható, hogy a magas tiszabecsi tetőző vízállás nem feltétlenül jelent magas szegedi tetőzést. A mellékvízfolyások hatása számottevő. Ez a

2022-2023. időszakban a leglátványosabb, amikor a több egymás után levonuló árhullám egyre alacsonyabb tiszabecsi tetőzéséhez egyre magasabb szegedi tetőzés párosult.



4. ábra. A modell bearányosításához kiválasztott időszakok tiszabecsi és szegedi vízállásainak idősorai  
 Figure 4. Water levels at Tiszabecs and Szeged in the periods selected for scaling the model

## Műtárgyak

A Tisza hazai szakaszán a két nagy műtárgyunk, a Tiszalöki és a Kiskörei vízlépcső mellett, számos olyan építmény található, ami kisebb-nagyobb mértékben hatással van a lefolyási viszonyokra. Ezeket a keresztiszelvények a viszonylag nagy távolságuk miatt a Saint Venant egyenletekkel nem tudjuk leírni, így itt kiváltjuk az alapegyenleteinket egy egyszerűsített folytonossági egyenlettel, és a műtárgyhidraulika összefüggéseivel, azaz a bukó és zsilip képletek szabad és alulról befolyásolt eseteivel. A modell jelen állapotában 55 műtárgyat tartalmaz, ebből 9 duzzasztómű, a fennmaradó 46 pedig közúti vagy vasúti híd. A duzzasztóművek az alábbiak:

- Túr nagy-bukó, Túr
- Túr kis-bukó, Túr
- Borzsovai bukó, Borzsa
- Tiszalöki vízlépcső (gáttábla, billenőtábla, vízerőtelep), Tisza
- Kiskörei vízlépcső (gáttábla, vízerőtelep, árapasztó), Tisza
- Békési duzzasztó, Kettős-Körös
- Békésszentandrás duzzasztó, Hármaskörös
- Körösladányi duzzasztó, Sebes-Körös
- Gyulai duzzasztó, Fehér-Körös

A műtárgyak hidraulikai leképezéséhez szükséges azok geometriájának ismerete és a vízszint-szabályozó műtárgyak esetében elengedhetetlen az üzemelési szabályzat is. Az összetett műtárgyakat is kezeli a modell, számítási szelvényeikben összegzi az együtthatók műtárgyképletekből származó értékeit és az egyes rész-műtárgyak (főelzárás, vízerőtelep, hajózsilip, árapasztó stb.) mozgása is összhangban történik. Mivel a számításhoz az egyenleteket nyílásonként írjuk fel, így a modelltől kinyerhető minden nyílás vízhozama és táblamozgása, így pontosan követhető a műtárgyak viselkedése. Műtárgyaink alapvetően felvízszintet tartanak, így a modell jelenleg ezt tudja kezelni, a paraméterezése a duzzasztási időszakok és a felvízszintek

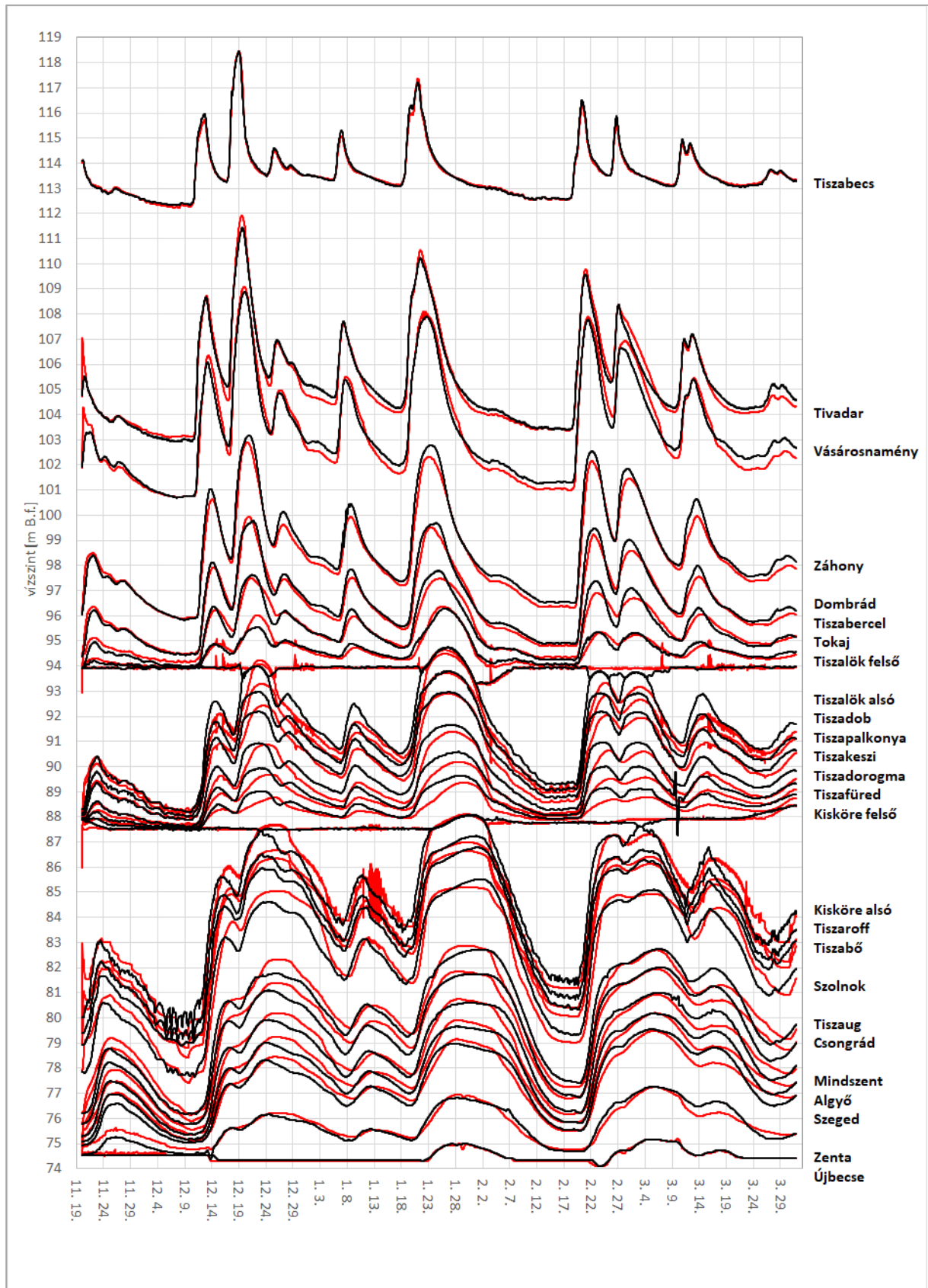
megadásával történik, a táblaállások közvetlen definiálására egyelőre nincs lehetőség. Vízerőtelepek esetén a modell figyelembe veszi, ha adott esés alatt már nincs energiatermelés, esetleg árapasztó céllal a nyílások mégis üzembe állnak és azt is figyeli, hogy milyen esésnél tud az energiatermelés újra elindulni.

A modell a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése keretében épült árvízi szükségeltározókat jelenleg nem tartalmazza. Ezek figyelembe vétele a mindennapi operatív előrejelzés során nem szükséges, mivel a lefolyásra gyakorolt hatásuk csak üzembe állítás esetén jelentkezik. A modell alkalmas a tározók vízkivételi és visszaterelési szelvényeinek ki- és belépő vízhozamainak számítására, de a tározótér elöntése már nem az egydimenziós hidrodinamika feladatköre.

## EREDMÉNYEK

Az 1D hidrodinamikai modell eredményeiből a 2022.11.20. és 2023.03.31. közötti vízszint idősorokat (5. ábra), valamint a mérésekkel való összehasonlítás statisztikai jellemzőit (3. táblázat) mutatjuk be. Ezek az RMSE (átlagos négyzetes hiba gyöke), RSR (a szórással normalizált átlagos négyzetes hiba gyöke), a hibaszórás, PBIAS (százalékos eltolódás), NSE (Nash-Sutcliffe hatékonyság), és NNSE (normalizált Nash-Sutcliffe hatékonyság) értékek. Az előrejelzések statisztikai értékelésének részletes bemutatása meghaladja e közlemény kereteit, ezért itt csak a legfontosabbat emeljük ki. Az RSR, mint az RMSE mért adatok szórással normalizált értéke jól mutatja a négyzetes középhiba mértékét az észlelt idősor változásához képest. Így egy duzzasztó felső állomásnál, ahol az idősor szinte állandó, mindössze néhány alkalommal van nagyobb vagy kisebb érték, a négyzetes középhiba alacsony, de a mért idősor szórása is alacsony, így az RSR jobban jellemzi a hibát, mint az RMSE. A PBIAS a felül- vagy alubecslés mutatószáma, míg az NSE, és a 0-1 értéktartományra normalizált NNSE a hidrológia egyik leggyakoribb hatékonysági mutatója.





5. ábra. Mért (fekete) és számított (piros) vízállás idősorok a főbb tiszai állomásokon 2022.11.20. és 2023.03.31. között  
 Figure 5. Observed (black) and simulated water levels at the major gauging stations (20.11.2022 - 31.06.2023)

3. táblázat: Az 1 D hidrodinamikai modell hatékonysági mutatói  
Table 3. Efficiency indicators of the 1D hydrodynamic model

Állomás	RMSE	RSR	Hibaszórás	PBIAS	NSE	NNSE
Tiszabecs	8,76	0,09	8,42	-0,00033	0,99	0,99
Tivadar	25,01	0,14	24,70	-0,00734	0,98	0,98
Vásárosnamény	33,58	0,18	33,43	0,000235	0,97	0,97
Záhony	29,57	0,17	21,97	0,003692	0,97	0,97
Dombrád	21,25	0,15	19,11	0,00037	0,98	0,98
Tiszabercel	22,29	0,22	22,05	-8,2E-05	0,95	0,95
Tokaj	14,00	0,27	13,87	0,000036	0,93	0,93
Tiszalök-felső	11,69	0,56	11,41	-5,5E-05	0,68	0,76
Tiszalök-alsó	41,80	0,24	33,34	0,001185	0,94	0,94
Tiszadob	29,14	0,19	29,13	0,00003	0,96	0,96
Tiszapalkonya	28,50	0,21	25,81	0,00039	0,96	0,96
Tiszakeszi	39,31	0,37	26,28	0,000847	0,86	0,88
Tiszadorogma	31,24	0,39	23,63	0,000423	0,85	0,87
Tiszafüred	25,27	0,47	18,30	0,000332	0,78	0,82
Kisköre felső	9,05	0,41	9,02	0,00001	0,84	0,86
Kisköre alsó	48,91	0,21	48,90	-1,7E-05	0,96	0,96
Tiszaroff	46,76	0,21	45,86	0,000242	0,96	0,96
Tiszabő	45,48	0,20	45,07	-0,00017	0,96	0,96
Szolnok	47,35	0,21	46,80	-0,0002	0,96	0,96
Tiszaug	38,89	0,20	38,88	0,000036	0,96	0,96
Csongrád	37,30	0,21	35,99	-0,0003	0,96	0,96
Mindszent	33,61	0,20	33,61	-1E-06	0,96	0,96
Algyó	31,69	0,22	31,48	-9,5E-05	0,95	0,95
Szeged	28,74	0,22	28,53	-9,5E-05	0,95	0,95
Zenta	20,56	0,26	20,44	-0,00006	0,93	0,94
Újbecse	4,76	0,20	4,75	0,000012	0,96	0,96
Törökbecse-felső	2,22	0,09	1,21	0,000044	0,99	0,99

A mellékvízfolyások eredményeit jelen közleményben nem tárgyaljuk, kalibrációjuk, és az országhatáron túli bővítésük jelenleg is folyamatban van.

## DISZKUSSZIÓ

### Kihívások és nehézségek

Bár a Tisza vízrendszere átlátható, a mederviszonyok többnyire ismertek, vízmércékkel és geometriai, valamint hidrológiai adatokkal kellően ellátott, ám hidrológiája mégis annyira komplex, hogy ilyen nagy kiterjedésű rendszer 1 dimenziós modellezése számos nehézséget rejt magában. A Tiszalöki és Kiskörei vízlépcsők meghatározó szerepet játszanak a Tisza hazai szakaszának vízjárásában. A műtárgyak leképezése hidraulikai összefüggésekkel egyértelmű feladat; a működtetésük (táblamozgatások stb.) által befolyásolva műtárgyon az a vízmennyiség megy át, ami oda megérkezik, és úgy, ahogy az alvízi viszonyok azt megengedik. Természetesen minden minden-

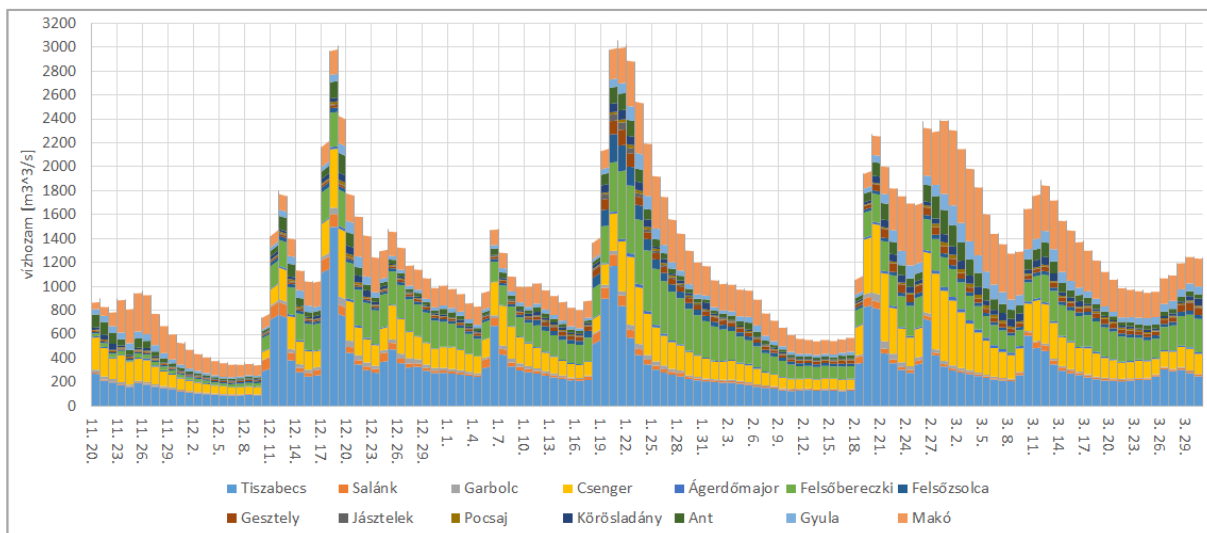
nel összefügg, például a zentai vízállásra hatással van akár egy rosszul modellezett szakasz a Bodrogon.

Így a modell felépítését az alábbi 4 nagy lépésre bontottuk:

1. lépés: a modell felépítése és kalibrációja Tiszabecstől a Tiszalöki vízlépcsőig,
2. lépés: a modell kiegészítése Kisköréig, a Tiszalök és Kisköre közötti szakasz kalibrációja,
3. lépés: a modell kiegészítése Újbecséig, a Kisköre alatti szakasz kalibrációja,
4. lépés: a teljes modell finomhangolása.

Ebben a felosztásban kellő figyelem jutott az egyes szakaszokon lejátszódó részfolyamatokra, és alaposan kiismerhető volt a modell eredmények és az észlelések közötti összefüggések.

A modell felső peremfeltételein beérkező vízhozamokat a 6. ábra szemlélteti.

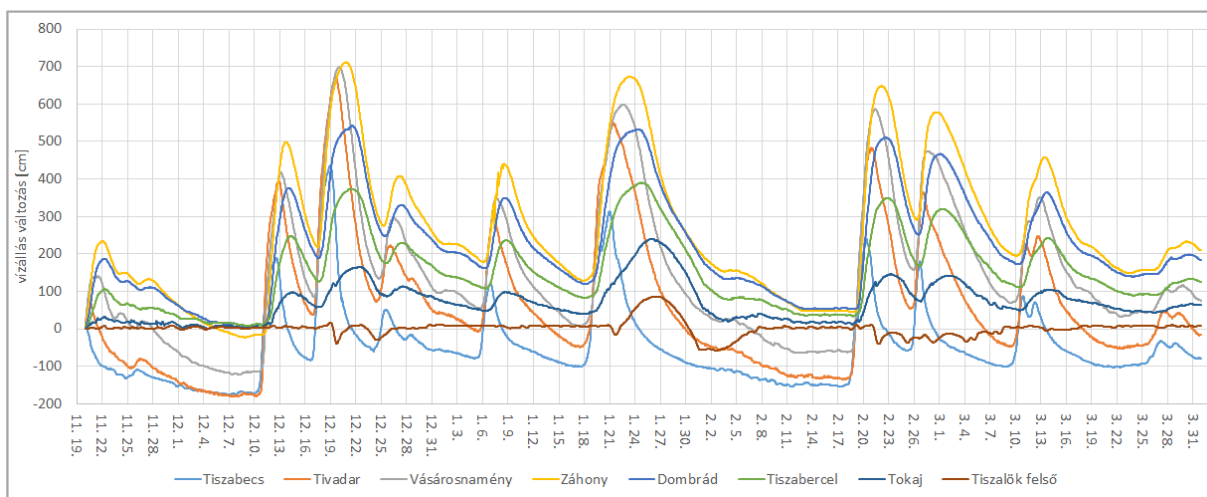


6. ábra. Beérkező vízhozamok a felső peremfelételeken 2022.11.20. és 2023.03.31. között  
 Figure 6. Inflow at the upper boundaries (20.11.2022-31.03.2023)

Ha megnézzük a vízállások alakulását Tiszabecstől Tiszalök felsőig (7. ábra), kivonva minden értékből a kezdő vízállást, akkor végig tudjuk követni, hogyan transzformálódnak az árhullámok térben és időben. Az árhullámok legnagyobb amplitúdója Tivadar, Vásárosnamény és Záhony térségében rajzolódik ki. A 2022. decemberi vizsgált időszakban például 437 cm-es tiszabecsi növekményhez, Tivadarnál 672 cm, Vásárosnaménynál 699 cm, Záhony-nál 712 cm tartozik. Záhony alatt egy erőteljes ellapulás indul meg, Dombrádnál már nincs meg a hegyes tetőzés, az árhullámok csúcsa lekerekedik, és ez a hatás tovább erősödik Tiszalök felé haladva. Az árhullám csúcsának deformációja már kis mértékben Záhony-nál is megfigyelhető. Másik fontos változás az egyes csúcsokat összehasonlítva, hogy míg Dombrádnál a decemberi árhullám magasabban tetőzött, mint a januári, addig Tiszabercelnél már a januári

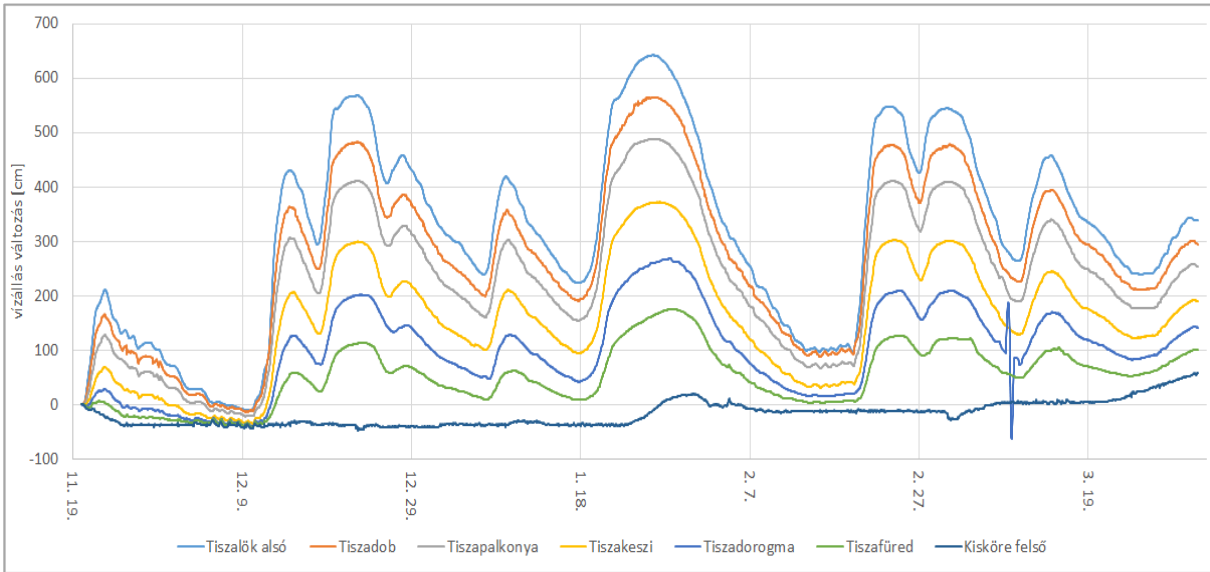
kicsit magasabban, Tokajnál pedig a januári jóval magasabban. Ennek oka, hogy a Bodrog decemberben 300 m<sup>3</sup>/s körüli csúcs vízhozamot, januárban pedig 580 m<sup>3</sup>/s körüli tetőző vízhozamot hozott.

Tiszalök felett a Szamos és a Bodrog vízhozama számottevő, míg a többi mellékfolyó hozama a Tiszához viszonyítva elenyésző mértékű. Ez indokolja a Záhonyig emelkedő vízállás növekményeket. A Záhony alatti erőteljes ellapulás pedig egyrészt a Tiszalöki vízlépcső visszaduzzasztó hatásának eredménye, ami a hossz-szelvényen is látható, másrészt pedig a hullámtéren lejátszódó folyamatok következménye. A Bodrogon érkező nagyobb januári árhullám így Tokajnál már meg is fordítja az arányokat és ennek a visszaduzzasztó hatása Tokaj felett is megmutatkozik. Hasonló a helyzet Csongrádnál és Szegednél, a Hármaskörös és a Maros torkolatánál is.

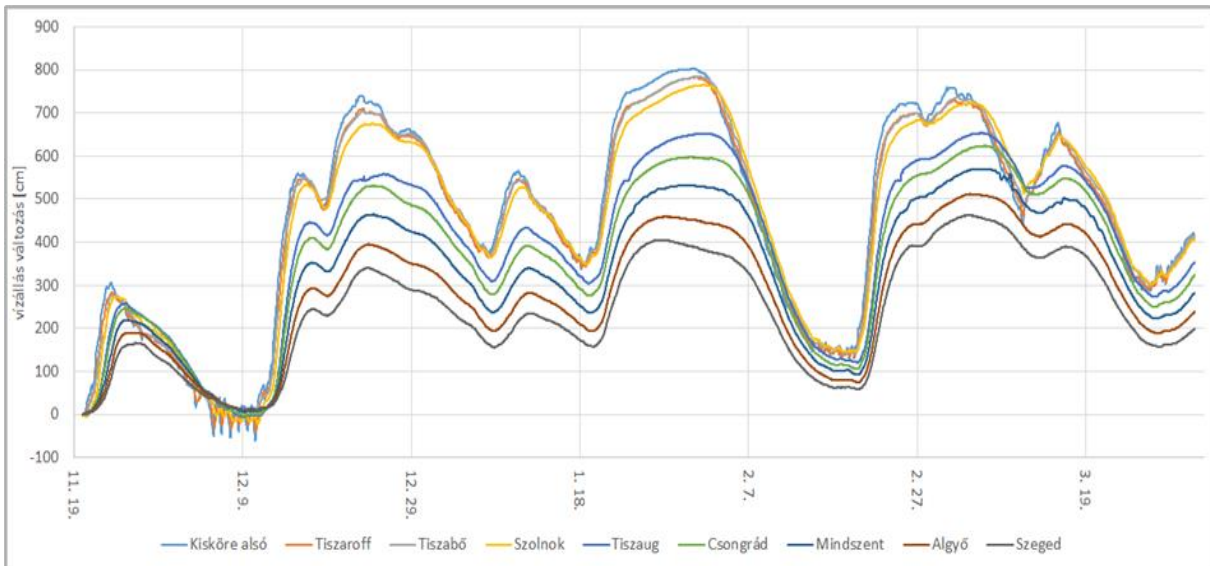


7. ábra. Vízállások változása Tiszabecstől Tiszalök felsőig 2022.11.20. és 2023.03.31. között a kezdőértékhez viszonyítva  
 Figure 7. Water level changes between Tiszabecs and Tiszalök relative to the first value (20.11.2022-31.03.2023)

A Tiszalök és Kisköre közötti, valamint a Kisköre alatti vízszintváltozásokat a 8. ábra és a 9. ábra szemlélteti:



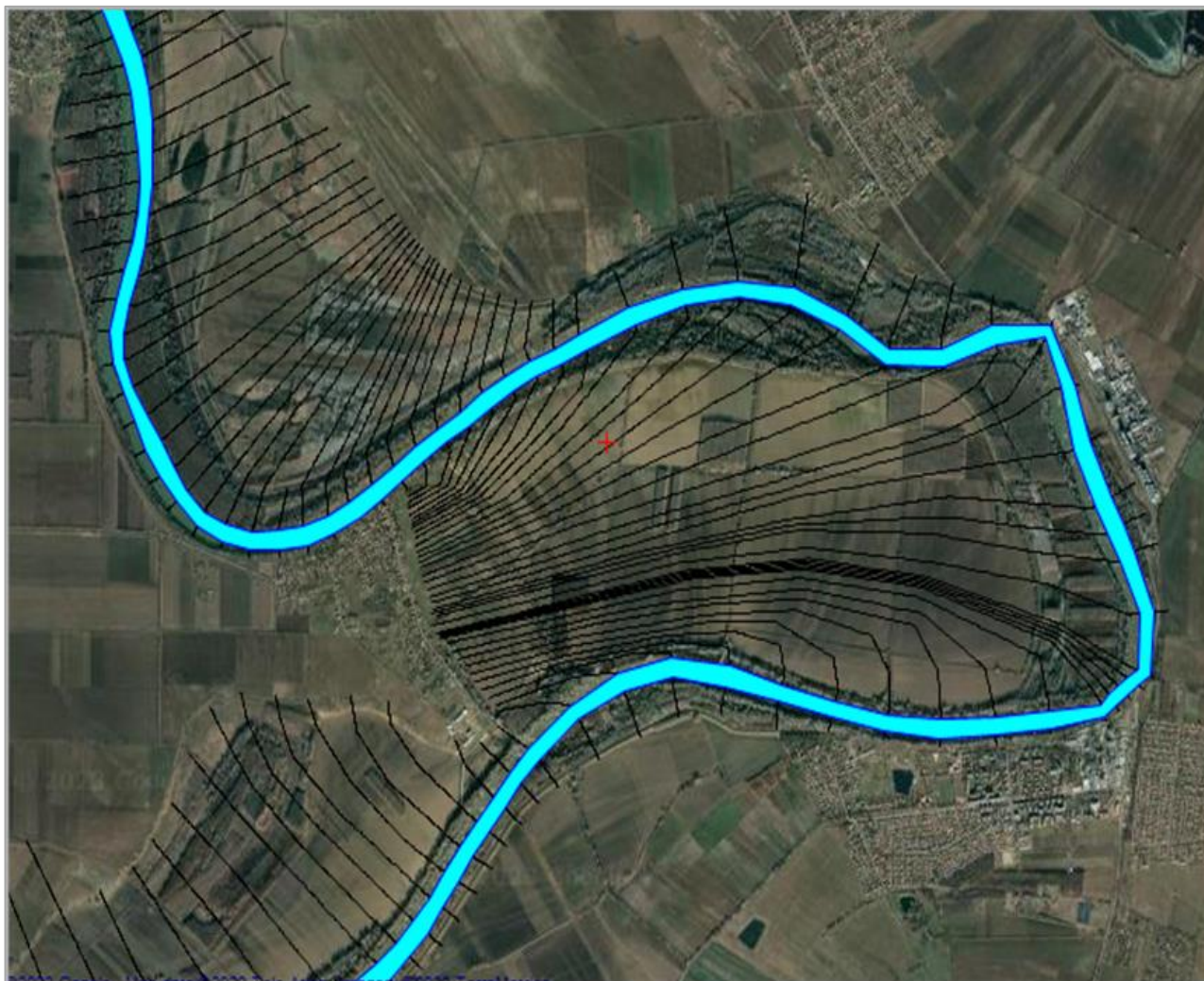
8. ábra. Vízállások változása Tiszalök alsó és Kisköre felső között 2022.11.20. és 2023.03.31. között a kezdőértékhez viszonyítva  
Figure 8. Water level changes between Tiszalök and Kisköre relative to the starting value (20.11.2022-31.03.2023)



9. ábra: Vízállások változása Kisköre és Szeged között 2022.11.20. és 2023.03.31. között a kezdőértékhez viszonyítva  
Figure 9. Water level changes between Kisköre and Szeged relative to the starting value (20.11.2022-31.03.2023)

Egy másik jelentős hatás, ami magyarázatot ad az árhullámok ellapulására, az a hidak jelenléte. A hidak különféleképpen hatnak az árhullámok levonulására annak függvényében, hogy meder-, hullámtéri pillérek milyen méretűek, kialakításúak, mennyi van belőlük, és a hídfők kialakítása milyen mértékben szűkíti a kereszt-szelvényt. Néhol szélesebb hullámtér esetében az út egy szakaszon töltésen megy, amin nem minden esetben vannak ártéri nyílások. Ezt a Saint Venant egyenletek le tudják írni, de olyan sűrű kereszt-szelvény kiosztást igényelne, ami ezeket a geometriai változásokat jól jellemezné. Ez lokálisan magas CFL (Courant- Friedrichs-

Lewy), Courant-számot eredményezne, így nem tenné lehetővé nagy időlépés használatát. A modellezési gyakorlatban elterjedt a hidak duzzasztásának leírása vízszint szabályozó műtárgyakhoz hasonló hidraulikai összefüggésekkel, így megtartható a nagy időlépcső és szimulálható a hidak hatása is. Ezen elv mentén a hidakat a zilip képlet segítségével írtuk le, nyílásaik alsó része maga a meder, egészen a hídfők által behatárolt szélességig. Ez tovább bővíthető az ártéri nyílások szelvényterületével. A képletben a kontrakciós tényező a mederfenékhez közeledve nő, így kisvízes időben a hidaknak nincs visszaduzzasztó hatása.



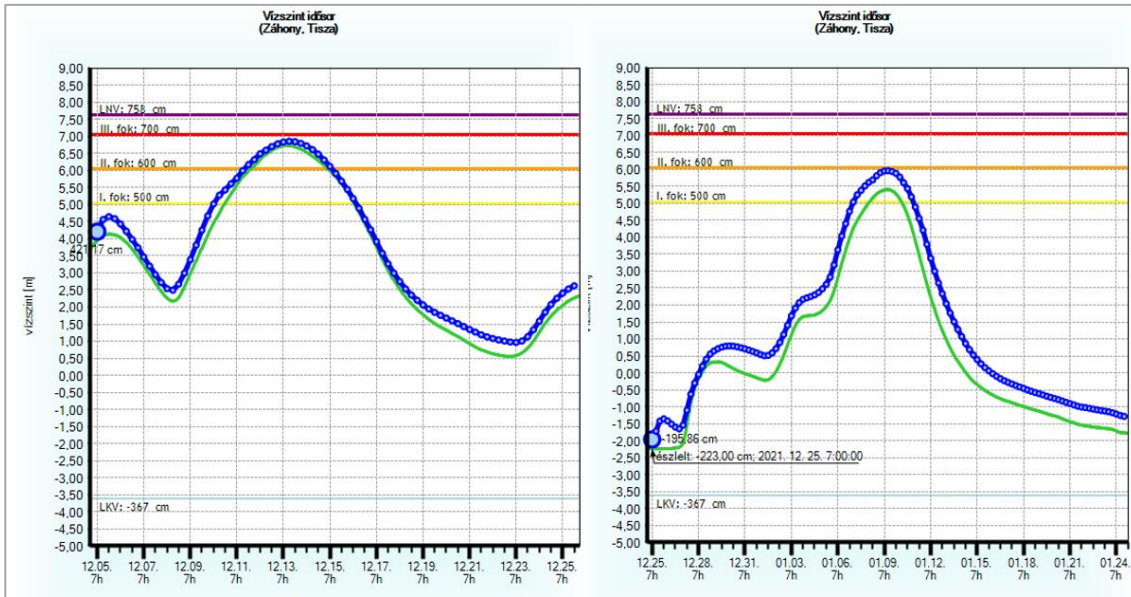
10. ábra. Folyókanyarulat Martfűnél (fekete vonal: keresztmetszvények, kék felület: számított vízfelszín)  
 Figure 10. A meandering reach at Martfű (black line: cross-section, blue surface: simulated water level)

Több helyen az 1D megközelítés jelentős elhanyagolásokat jelent, mert a Tisza helyenként meanderező medre (10. ábra), kiszélesedő, majd összeszűkülő nagyvízi szelvénye, továbbá a hullámtér jellegzetességei, a területhasználati viszonyai nem írhatóak le egy egyszerű hosszirányú hidrodinamikai modellel. Ezek hidraulikai leképezését több módszer segítségével valósítottuk meg:

- A keresztmetszvények automatikus vágása a partélek mentén, úgy hogy a hullámtéri részek csak a partélt feletti vízszint esetén lépnek be a vízszállításba. Ezt a megköztést helyenként elengedtük, így a hullámtér hamarabb részt vesz az árhullámok levezetésében.
- A számítási keresztmetszvények távolsága, az alap-egyenleteink  $\partial x$  változója (1. és 2. egyenletek), alap esetben a szomszédos szelvényekhez tartozó szelvény-számokból következik. Azonban meanderező folyó

esetén a nagyvízi sodorvonal rövidebb, így az árhullámok csúcsa gyorsabban halad. Ezért a  $\partial x$  távolságot a vízszint függvényeként kezeltük, alapértékétől egészen a két szomszédos szelvény legközelebbi pontjainak távolságáig terjedően.

Az expanziós és kontrakciós veszteségek tényezője ( $K_{ec}$ ) (5. egyenletben) szintén jelentősen befolyásolja az árhullámok haladási sebességét. Próbaszámítások után szűkületeknél 0,05, bővületeknél -0,25 értéket használtunk. A Tisza esetében sok helyütt számottevő medersüllyedés figyelhető meg. A 2010. decemberi, a három közül a legnagyobb árhullámra végzett kalibráció eredménye így jelentős javításra szorult. A modell a 2021. decemberi időszakban Záhonyánál a vízállásokat szinte konstans módon 65 cm-rel túlbecsülte (11. ábra).



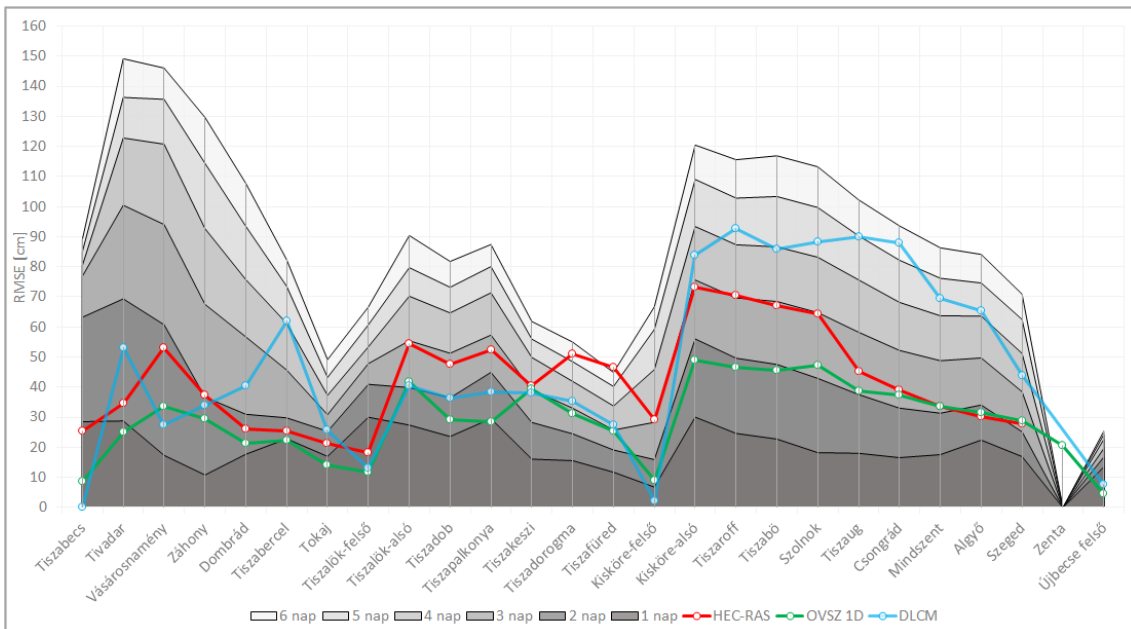
11. ábra. A 2010. decemberi árhullám kalibrációs eredménye Záhonyánál (balra), ugyanezzel a modellel a 2021. decemberi árhullám (jobbra) Záhonyánál (kék – OVSZ 1D, zöld – észlelt)

Figure 11. Calibration results at Záhony in 2010 (left), and the same model in 2021 (right) (blue – OVSZ 1D, green – observed)

### Összehasonlítás az OLSER és a HEC-RAS eredményeivel

A modell eredményeit összevetettük a HEC-RAS modell és az OLSER eredményeivel (12. ábra). A HEC-RAS modellt – melyet a KÖTIVIZIG bocsátotta rendelkezésünkre – változtatás nélkül, az adott időszakra vonatkozó peremfeltételekkel, valamint tiszalóki és kiskörei üzemrendekkel futtattuk. Az OLSER-ből kétféle adatot vettünk ki, az egyik az adott időpontra kiadott előrejelzések négyzetes középhibái 1-6 napos időelőnnel, a másik pedig csak az OLSER árhullám-transzformációs moduljával, a

diszkrét lineáris kaszkádmoddellel (DLCM) futtatott szimuláció eredménye a vizsgált szakaszon. A 12. ábrán adtuk meg a háromféle árhullám-transzformációs modell eredményeinek RMSE alapú összehasonlítását (kék – DLCM, zöld – OVSZ 1D, piros – HEC-RAS) a vízmércékre vonatkozóan, valamint szürke sávokkal az egyre növekvő időelőnnel kiadott előrejelzéseket. Ez jól szemlélteti, hogy előrejelzési helyzetben a meteorológiai előrejelzések, az észlelések asszimilációja, és a hibakorrekció milyen mértékben határozzák meg az előrejelzett vízállásokat, azaz mennyire eltér az észlelések alapján lefutott DLCM eredményeitől.

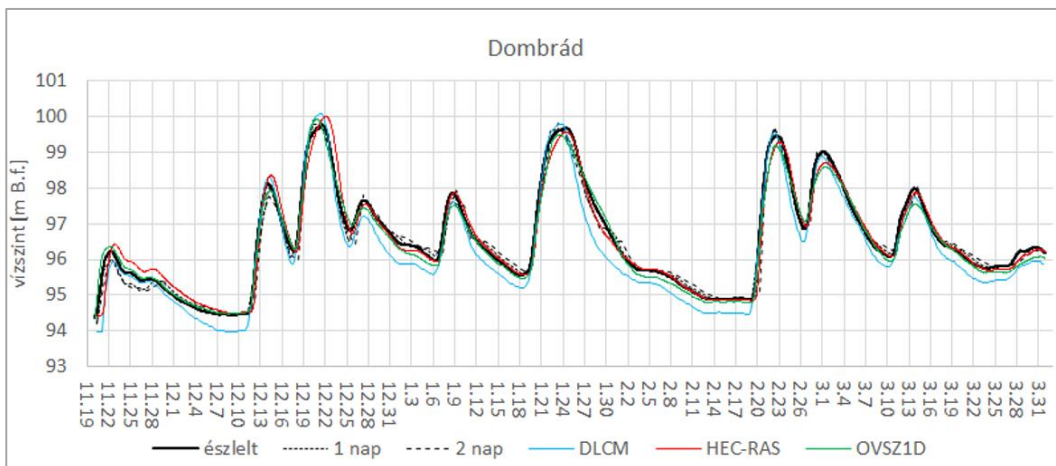


12. ábra. Az OLSER által számított előrejelzések, DLCM, HEC-RAS és OVSZ 1D modelledmények négyzetes középhibája 2022.11.20. és 2023.03.31. között

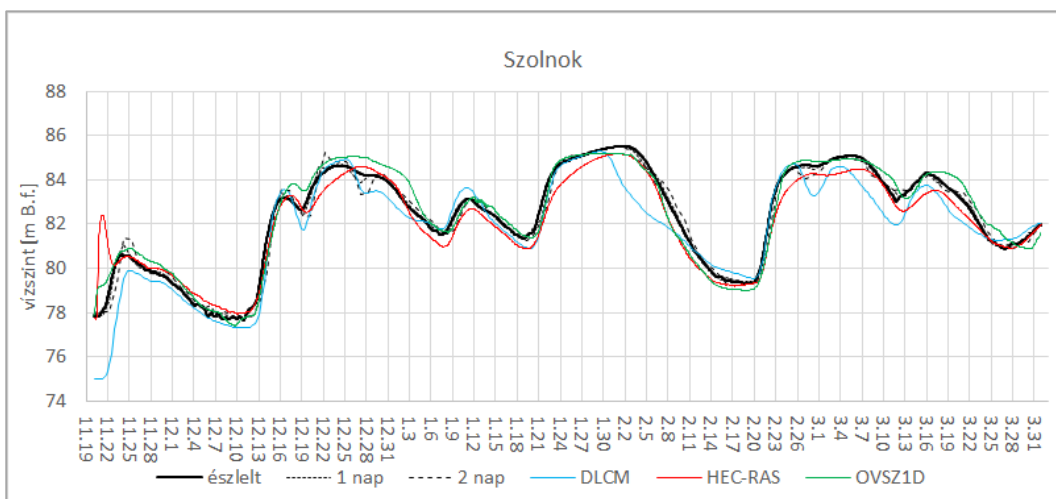
Figure 12. The root mean square error of OLSER-calculated forecasts, DLCM, HEC-RAS and OVSZ 1D model results (20.11.2022-31.03.2023)

Az összegző kiértékelés mellett néhány állomás: Dombbrád (13. ábra), Szolnok (14. ábra), Szeged (15. ábra) vízszint idősorát külön is ábráztuk, hogy érzékelhető legyen az a különbség, amit az egyes mutatók számszerűsítenek. Az alábbi ábrákon például látható, hogy a DLCM az apadást valamennyi esetben intenzívebben szimulálja. Ennek oka a

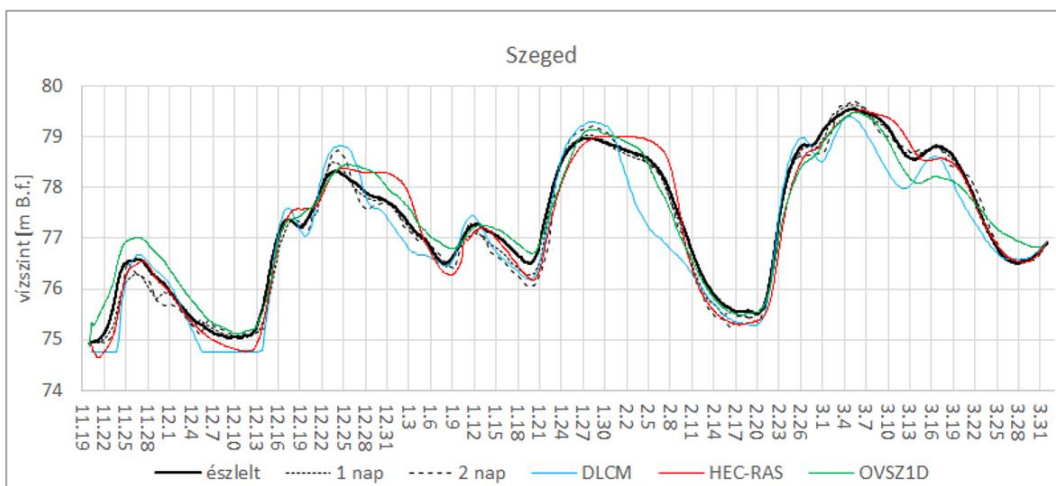
permanens Q-h kapcsolat, ami nem képes az áradó és apadó ágak közötti eséskülönbség figyelembe vételére. Szintén hiba a DLCM esetén a dombrádi vízállások alulbecslése. A HEC-RAS esetében a nagyobb árhullámok tetőzése már Dombbrádnál késik, ami Szolnokig tovább fokozódik, Szegednél pedig jelentős eltérések vannak a mért értékektől.



13. ábra. Észlelt és számított vízszintek a Tiszán Dombrádnál 2022.11.20. és 2023.03.31. között  
 Figure 13. Observed and simulated water levels at Dombrád (20.11.2022-31.03.2023)



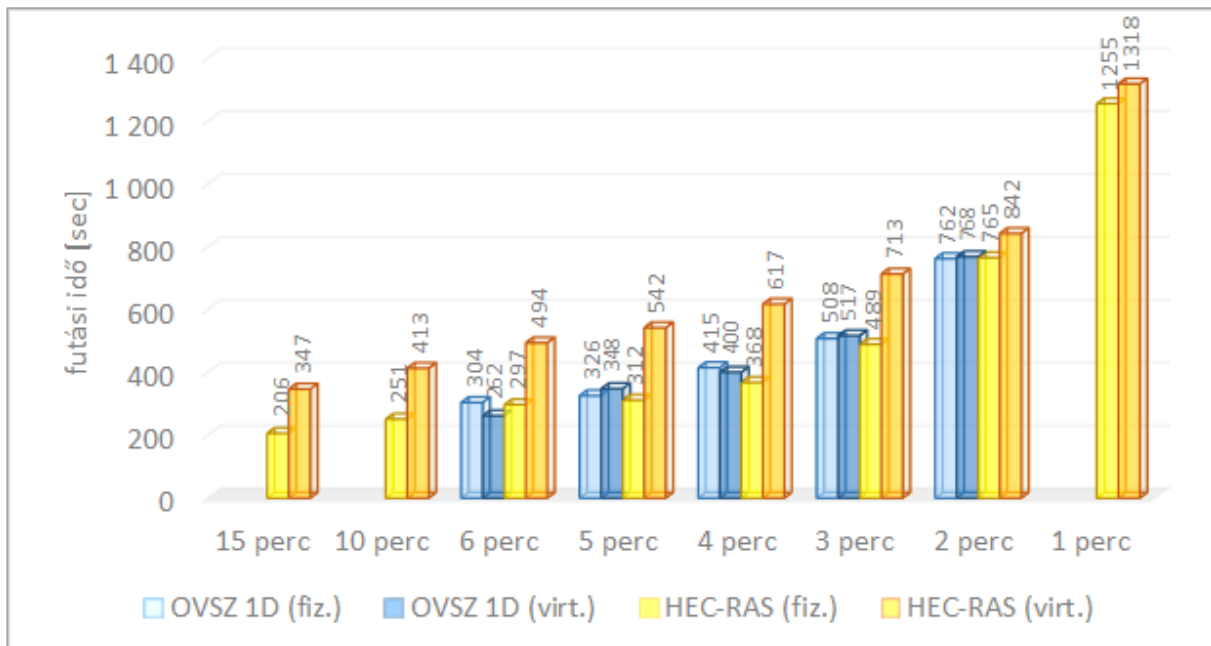
14. ábra. Észlelt és számított vízszintek a Tiszán Szolnoknál 2022.11.20. és 2023.03.31. között  
 Figure 14. Observed and simulated water levels at Szolnok (Tisza) (20.11.2022-31.03.2023)



15. ábra. Észlelt és számított vízszintek a Tiszán Szegednél 2022.11.20. és 2023.03.31. között  
 Figure 15. Observed and simulated water levels at Szeged (Tisza) (20.11.2022-31.03.2023)

A két 1D modellnél a szimuláció sebességében is különbség van (16. ábra). Azonos számítógépen, különböző

időlépcsőkkel ugyanarra az időszakra és kiterjedésre futtatott szimulációk esetén a futási idők az alábbiak:



16. ábra. A szimuláció ideje különböző időlépcsők mellett a HEC-RAS és OVSZ 1D modellel virtuális és fizikai környezetben  
Figure 16. The time of simulation with different time steps with HEC-RAS and OVSZ 1D models in virtual and physical environments

A szimulációt virtuális környezetben végeztük (CPU: Intel Xeon Gold 5218R @ 2.10 GHz 16 mag, Memória: 16,0 GB, Merevlemez SCSI Virtual Disk), ami a HEC-RAS számára nem tűnt ideális választásnak. A fizikai gépen végzett (CPU: Intel i7-4790 @ 3.60GHz, Memória: 16,0 GB DDR3, Merevlemez: Samsung SSD 860 EVO 250GB) szimulációk jelentős gyorsulást mutatnak, ami magyarázható az egy-egy processzormag számítási teljesítményének különbségével és az SSD nagyobb írási sebességével. A HEC-RAS a linearizált alapegyenletek mátrixos alakjának ritka, sávok együttható mátrixát tömöríti, egy ún. skyline tárolási sémát használ (Bathe és Wilson 1976), ami csökkenti a szimuláció sebességét, de nem teszi lehetővé az algoritmus párhuzamosítását.

A DLCM az analitikus megoldás miatt azonnali eredményt jelent, így ebben az összehasonlításban nem szerepel. A HEC-RAS a szimuláció során csak a vízszint és vízhozam eredményeket menti, a továbbiakat egy Post Processor végzi, ami néhány másodperces többletet jelent a szimuláció végén. Az OVSZ 1D modell az együttható mátrix elemeit egy párhuzamos ciklusban, több processzormagot kihasználva tölti fel, hiszen ezek az értékek függetlenek egymástól, de nagyszámú művelet elvégzését igénylik. A gyors szimuláció másik feltétele a lehető legkevesebb számú művelet végzése, ezt a hidraulikai jellemzők minél jobb előkészítésével érhetjük el a keresztmetszvények feldolgozása során. A számítás sebességét viszont nagymértékben lassítják a vízszint-szabályozó műtárgyak, mert ezek algoritmusuk több feltételes elágazást tartalmaz, ami ugyanennyi kifejezés kiértékelését jelenti, ráadásul a modell a szimulált üzemelés adatait, mint részeredményeket is eltárolja.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A Tisza 1D hidrodinamikai modellezése feladat során továbbfejlesztettük a már Dunára kiépített 1D hidrodinamikai modellt, hogy alkalmas legyen a Tisza vízrendszerének modellezésére. A modellt kalibráltuk egy-egy 2010., 2021. árhullám, valamint egy hosszabb 2022-23-as időszak alapján. A modell átlagos négyzetes középhibája a vizsgált időszakban kisebb, mint a HEC-RAS modellel, és a DLCM-mel végzett számítások átlagos RMSE értéke. A folyamatot fejlesztés és a paraméterek finomhangolása elengedhetetlen, ahogy a keresztmetsvény adatok rendszeres felülvizsgálata is fontos követelménye a hosszú távú megbízható modellezésnek. A szimuláció sebessége és stabilitása is kielégítő, alkalmas arra, hogy az OLSER rendszer részeként a jövőben támogassa az árhullám-transzformációs számításokat és hozzájáruljon a pontosabb előrejelzésekhez.

## IRODALOMJEGYZÉK

Abbott, M.B. (1979). Computational Hydraulics. Pittman Publishing Limited, Boston. London, Melbourne.

Abbott, M.B., Basco, D.R. (1989). Computational Fluid Dynamics. Longman Scientific & Technical, Harlow.

Bathe, K.J., Wilson, E.L. (1976). Numerical Methods in Finite Element Analysis. Prentice Hall, Upper Saddle River.

Cammalleri C., Naumann G., Mentaschi L., Formetta, G.(a), Forzieri, G., Gosling, S.(b), Bisselink, B., De Roo, A., Feyen, L. (2020). Global warming and drought impacts in the EU, EUR 29956 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-12947-9. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/597045>



Chang, F.J., Chang, L.C., Chen, J.F. (2023). Artificial Intelligence Techniques in Hydrology and Water Resources Management. *Water* 2023, 15, 1846. <https://doi.org/10.3390/w15101846>

Cunge, J.A., Holly, F.M., Verwey, A. (1980). *Practical Aspects of Computational River Hydraulics*. London: Pitman.

Di Nunno, F., de Marinis, G., Granata, F. (2023). Short-term forecasts of streamflow in the UK based on a novel hybrid artificial intelligence algorithm. *Sci Rep* 13, 7036 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34316-3>

Fread, D.L., Lewis, J.M. (1998). NWS FLDWAV MODEL. NOAA, Hydrologic Research Laboratory, Office of Hydrology.

Kalinin, G.P., Milyukov, P.I. (1957). Raschete neustanovivshego- sya dvizheniya vody v otkrytykh ruslakh. On the computation of un- steady flow in open channels. *Met. i Gydrologia Zhurnal*, 10, pp.10-18. Leningrad.

Lhotka, O., Trnka, M., Kyselý, J., Markonis, Y., Balek, J., Mozny, M. (2020). Atmospheric Circulation as a Factor Contributing to Increasing Drought Severity in Central Europe. *JGR Atmospheres*, 18, 125. <https://doi.org/10.1029/2019JD032269>

Liptay Z.Á., Gauzer, B. (2021). Operational river ice and water temperature forecasting on the Hungarian Danube reach, In: *Science and practice for an uncertain future*. <https://doi.org/10.3311/FloodRisk2020.17.11>

Liptay Z.Á. (2022). Neurohydrological prediction of water temperature and runoff time series. *Acta Hydrologica Slovaca*. 23. pp. 190-196. <https://doi.org/10.31577/ahs-2022-0023.02.0021>

Nash, J.E. (1960). A unit hydrograph study, with particular reference to british catchments. *Hydraulics Research Station, Department of Scientific and Industrial Research*, p. 6433. <https://doi.org/10.1680/iicep.1960.11649>

Nearing, G., Cohen, D., Dube, V., Gauch, M., Gilon, O., Harrigan, S., Hassidim, A., Kratzert, F., Metzger, A., Nevo, S., Pappenberger, F., Prudhomme, C., Shalev, G., Shenzi, S., Tekalign, T., Weitzner, D., Matias, Y. (2023). AI Increases Global Access to Reliable Flood Forecasts. *Environmental Science, Computer Science, Engineering, arXiv.org* 30 July 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.16104>

Preissmann, A. (1961). Propagation des intumescences dans les canaux et rivières. First Congress of the French Association for Computation, Grenoble, pp. 433-442.

Stagge, J.H., Kingston, D.G., Tallaksen, L.M., Hannah, D.M. (2017). Observed drought indices show increasing divergence across Europe. *Sci Rep* 7, 14045. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14283-2>

Szilágyi J., Laurinyecz P. (2014). Accounting for Backwater Effects in Flow Routing by the Discrete Linear Cascade Model. *Journal of Hydrologic Engineering*. 19. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000771](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000771)

Szilágyi J., Szöllősi-Nagy A. (2008). Streamflow forecasting using a physically based state-space approach to flow routing. Budapest, Budapest University of Technology and Economics.

Szöllősi-Nagy A. (1982). The discretization of the continuous linear cascade by means of state-space analysis. *J. Hydrol.*, 58. pp. 223-236. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90036-1](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90036-1)

## A SZERZŐ



**LIPTAY ZOLTÁN ÁRPÁD** okleveles infrastruktúra-építőmérnök, az Országos Vízellátó Szolgálat előrejelzője, a Nemzeti Községi Egyetem Víztechnológiai Kar Területi Vízgazdálkodási Tanszékének adjunktusa, az MTA Műszaki Tudományok Osztályának köztestületi tagja, a Hidrológiai Társaság Hidraulikai és Műszaki Hidrológiai Szakosztályának vezetőségi tagja. Kutatási területe a hidrológiai előrejelzés, a numerikus hidrodinamikai és hidrológiai modellezés, valamint a mesterséges intelligencia hidrológiai célú felhasználási lehetőségei. A Hidrológia Társaság tagja 2009 óta.

## Komplex folyami lebegtetett hordalékszállítási folyamatok szimuláció alapú vizsgálat a revitalizációs célú beavatkozások támogatására

Pomázi Flóra<sup>1,2</sup>, Baranya Sándor<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3. (e-mail: pomazi.flora@emk.bme.hu, baranya.sandor@emk.bme.hu)

<sup>2</sup> Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapest

DOI: 10.59258/hk.15075



### Kivonat

A tanulmányban egy 3D numerikus modellt építettünk fel, igazoltunk és alkalmaztunk a Duna felső-magyarországi szakaszának lebegtetett hordalékszállításának szimulálására. A mintaterület igen összetett, mivel folyószabályozási művek, illetve a Mosoni-Duna felől a Rábán levonuló nagyvíz esetén érkező hordalékcsova terjedése is befolyásolja a lebegtetett hordalékvándorlás térbeli alakulását. A bemutatott modellezési megközelítéshez részletes terepi adatokat használtunk fel a modell igazolásához. Ennek során a modell paramétereit, illetve a peremfeltételeket úgy választottuk meg, hogy a mért és a modellezett eredmények között optimális egyezőséget kapjunk a víz- és hordalékjárási körülmények kellően széles tartományán. A modell képes volt reprodukálni a lebegtetett hordalékszállítás jelentős térbeli inhomogenitását. Ezen kívül egy esettanulmány példáján keresztül bemutattuk, hogy a modell milyen lehetőségeket rejt magában folyami revitalizációs beavatkozások támogatására, mint például a mellékágak helyreállítása. Az Erebe-szigeteki mellékágrendszer példáján keresztül különböző változatok hatását vizsgáltuk a mellékágban végbemenő hordaléklerakódási folyamatok szempontjából. Bemutattuk, hogy a kiülepedő hordalékmennyiség csapdázásával optimalizálni lehet a fenntartó kotrási tevékenységeket.

### Kulcsszavak

Lebegtetett hordalék, 3D numerikus modell, komplexitás, hordalékcsova, revitalizáció.

## Simulation-based assessment of complex suspended sediment transport processes to support revitalisation measures

### Abstract

A three-dimensional numerical model was built and applied to simulate the suspended sediment transport of the Upper-Hungarian reach of the Danube River. The study area is rather complex – the spatial distribution of the suspended sediment transport is influenced by river training works, and the sediment plume of the high flow of the Raba River, inflowing from the Mosoni-Duna. The presented modelling approach uses detailed field data to calibrate and validate the model for fluvial hydrodynamics and suspended sediment transport. This involved adjusting model parameters and boundary conditions to achieve optimal agreement between the simulation results and the reference data over a reasonably wide range of flow rates and suspended sediment concentrations. The model was able to reproduce the strong spatial inhomogeneity of suspended sediment transport. Furthermore, a case study was conducted to demonstrate the potential of the model to support river revitalisation measures, such as the recovery of side arms. Through the example of the Erebe islands side-arm system, scenarios were simulated to estimate the sedimentation of the side arm due to different measures. By concentrating the deposited material in a sediment trap, maintenance dredging activities could be optimised.

### Keywords

Suspended sediment, 3D numerical model, complexity, sediment plume, revitalisation.

### BEVEZETÉS

A folyami lebegtetett hordalékszállítás alapvető szerepet játszik a különböző morfológiai folyamatokban, a folyami élőhelyek minőségében és a folyógazdálkodással kapcsolatos számos társadalmi tevékenységben. A lebegtetett hordalékszemcsék a víz áramlásával együtt szállítódnak, a finom részecskék (azaz a 63 µm-nél kisebb átmérőjűek) a gravitáció és a turbulencia ellentétesen ható erői miatt lebegésben maradnak (van Rijn 1984a). A folyó hordalékszallító kapacitása határozza meg a hordalékszállítás egyensúlyát a folyó mentén. Az eróziós, valamint a feltöltődési folyamatok egymással váltakozva, aktívan alakítják magát a folyómedret (Schumm 1977).

A természetes folyókban ez a két folyamat általában egyensúlyban van. Folyószabályozások hatására azonban

ez az egyensúly felborulhat, és az erózió, valamint a lerakódás jelentős problémákat okozhat (Mossa 1996). Világszerte komoly aggodalomra ad okot a folyómedrek folyamatos átalakulása (Nienhuis és társai 2016), ami folyórendszerek eróziójából származó feltöltődés miatt a torkolatok degradációjához vezethet. Emellett a hagyományos vízépítési művek, pl. sarkantyúk (Henning és Hentschel 2013) is súlyosbíthatják a meder lokális kimosódását. A tározókban felhalmozódott kiülepedett hordalék csökkenti a tározókapacitást (Schleiss és társai 2016), ami vízhiányhoz, vagy csökkentett árvízviisszatartó képességhez vezethet, a tározók elsődleges rendeltetésétől függően. A többelhordalék árvízi események során a hullámtereken rakódik le, növelve az árvízi kockázatokat (Nones 2019). Kisebbségekben, a parti szűrős vízvezetékkel és a hordalék felhalmozódása eltömítheti a folyómeder pórúseit,

csökkentve a szűrési kapacitást és a hatékonyságot, potenciálisan veszélyeztetve ezáltal a biztonságos ivóvízellátást (Gillefalk és társai 2018). Egy további összetett lebegtetett hordalékvándorlási jelenség a lebegtetett hordalék keveredése folyók összefolyásánál (Lane és társai 2008). Ezeknek az összetett folyamatoknak és a lebegtetett hordalékvándorlással kapcsolatos kérdéseknek a megértése és számszerűsítése azonban, akár mérések, fizikai kísérletek vagy numerikus modellezés révén, jelentős kihívást jelent.

A lebegtetett hordalékvándorlás terepi mérésekkel történő értékelésénél fontos figyelembe venni, hogy az egy rendkívül dinamikus jelenség, amelyet gyors tér- és időbeli változások jellemeznek. A terepi mérések pontosságának és reprezentativitásának biztosítása érdekében a mintavételt olyan felbontással kell végezni, amely megfelelően megragadja ezeket a változásokat (Mead és társai 2012). A lebegtetett hordalékvándorlás expedíciós mérései hagyományosan egyidejű mintavételt és áramlásmérést foglalnak magukban a kulcsfontosságú paraméterek esetében, mint például a lebegtetett hordaléktöménység és a lebegtetett hordalékhozam. A legtöbb mintavevő azonban – akár közvetlen, akár közvetett – egyetlen diszkrét pontban mintáz, ami korlátozza a szükséges tér- és időbeli felbontás biztosítását (Downing 2006, Gray és Gartner 2009). Ezzel szemben az akusztikus elméletet (Thorne és társai 1991, Gray és Gartner 2009, Moate és Thorne 2012) alkalmazó megközelítések (Baranya és Józsa 2010, Agrawal és Hanes 2015) lehetőséget nyújtanak a lebegtetett hordalékvándorlás térben kiterjesztett térképezésére. Ezen előnye ellenére az akusztikus térképezésnek megvannak a maga korlátai, többek között a detektálható szemcseméretet illetően (Guerrero és társai 2011, 2016).

A numerikus eszközök ígéretes alternatívát jelentenek a lebegtetett hordalékszállításra vonatkozó ismeretek megszerzéséhez. Ezek az eszközök támogathatják a vízmérnöki intézkedések tervezését a lebegtetett hordalékszálítással kapcsolatos problémák megoldására. A megfelelő hidromorfológiai modell kiválasztása a konkrét értékelendő morfológiai változásoktól függ, mivel a változások különböző tér- és időbeli léptékekben játszódnak le. Az 1D modellezés hasznosnak bizonyul nagy térbeli léptékű, például vízgyűjtő-méretű, hosszú időszakokra kiterjedő értékelések esetében (Zhang és társai 2014). Ez a megközelítés azonban nem alkalmas például keresztmetszeti változások, vagy diszkrét események leírására. Ezzel szemben a 2D mélységátlagolt modellek kiválóan alkalmasak például lokális sebességváltozások, szennyezőanyag-terjedés vagy hullámtéri feliszapolódás szimulációjára (Guan és Liang 2017). A 3D megközelítés pedig elengedhetetlen, ha olyan összetett folyamatokkal foglalkozunk, mint a másodlagos áramlás, a turbulencia, a kisléptékű szerkezeti kölcsönhatások vagy a kimosódás (Török és társai 2017).

A 3D modellek tipikus alkalmazási példái széles skálát fednek le, mint például a kotrási tevékenységek során keletkezett hordalékcsovák követése (Haimann és társai 2018), az összetett hidrodinamikai jelenségek elemzése (Baranya és társai 2013), a morfordinamikai változások tanulmányozása (Olsen 2003, 2021, Olsen és Hillebrand 2018), vagy a torkolati hordalékcirkuláció (pl., mivel ezek

határozzák meg a morfordinamikai változásokat. Emellett a 3D modellezés elengedhetetlen a szerkezetek körüli áramlási és hordalékvándorlási vizsgálatokhoz, mint például sarkantyúk és hídpillérek esetében (Baranya és társai 2014). A folyószabályozási művek áramlási és hordalékszálítási folyamatokra gyakorolt hatásainak numerikus vizsgálata segít a tervezésük optimalizálásában és a káros hatások minimalizálásában. Bár a 3D modellezés pontosabb, mint az 1D és a 2D modellezés, számításgénye azonban lényegesen nagyobb azokénál.

A fent említett tanulmányok többsége, amelyek 3D-s számítási modelleket használnak a lebegtetett hordalékszállítás térben változó jellegének reprodukálására, nem rendelkeznek a transzportmodell átfogó igazolásával. Tanulmányunk fő célja egy 3D-s numerikus modell igazolása a Duna egy olyan magyarországi szakaszán, ahol jelentős térbeli változékonyság jellemzi a lebegtetett hordalék eloszlását. A vizsgált terület a Duna felső-magyarországi szakaszán található, amelyet összetett medermorfológia és lebegtetett hordalékszállítás jellemez. A vizsgált terület magában foglalja az Erebe-szigetek mellékágrendszerét, amely fontos élőhelyeket biztosít a növény- és állatvilág számára. A Dunában az elmúlt évszázadban végzett folyószabályozási beavatkozások miatt a mellékágrendszer jelentős feliszapolódásnak van kitéve, ami az ökológiai viszonyok romlásához vezet, mely tudományosan megalapozott helyreállítási intézkedéseket tesz szükségessé. A lebegtetett hordalékviszonyok javításában döntő szerepet játszó lebegtetett hordaléktöménység térbeli eloszlásának sikeres előrejelzése alapvető előfeltétele az ökológiai vizsgálatoknak (Trithart és társai 2019). A lebegtetett hordalékszállítás környezeti hatását is figyelembe kell venni minden folyószabályozási vagy revitalizációs intézkedésnél (Trithart és társai 2019) a hosszú távú ökológiai stabilitás és az ökoszisztéma-szolgáltatások javítása érdekében. A modellezési esettanulmányhoz szükséges lebegtetett hordalékszálítási peremfeltételek biztosítása érdekében felállítottuk a hordalékhozam-görbéket mind a Duna, mind pedig a Mosoni-Duna vizsgált szelvényében. Itt megjegyezzük, hogy a közleményben bemutatott modellvizsgálat alátámasztó mérései a SEDDON II projekt keretében (Baranya és társai 2022), még a Mosoni-Duna torkolati műtárgyának megépülte előtt történtek, vagyis a torkolat áthelyezésével megváltozott áramlási, illetve elkeveredési folyamatok vizsgálatát nem foglalja magában a tanulmány. A bemutatott esettanulmány azonban alkalmas arra, hogy alátámasszuk és szemléltessük, hogy az alkalmazott modellel megfelelően leképezhetőek a térben összetett áramlási és lebegtetett hordalékvándorlási folyamatok.

## MÓDSZERTAN

### Mintaterület

A vizsgált terület (1. ábra) a Duna felső-magyarországi szakaszán található. A hidromorfológiai szempontból átmeneti szakaszon a folyómeder kiszélesedik, mederlejtése 37 cm/km-ről fokozatosan 6 cm/km-re csökken (Danube-Sediment 2020). A folyómeder átlagos szelvényisélessége körülbelül 400 m, az átlagos vízmélység 5-6 m. Az átlagos éves középvízhozam kb. 2 200 m<sup>3</sup>/s, a 100 éves visszatés-

rési idejű árvíz pedig elérheti a 10 000 m<sup>3</sup>/s értéket. A legközelebbi lebegtetett hordalék monitoring állomásról (Vámoszabadi; 1805,60 fkm) származó adatok alapján az átlagos lebegtetett hordaléktöménység 20 mg/l, ami 40 kg/s átlagos lebegtetett hordalékhozamnak felel meg (ez mintegy 1,3 Mt éves hordalékterhelést jelent). A Mosoni-Duna a Duna egy szabályozott mellékága, amelynek éves átlagos vízhozama kb. 50 m<sup>3</sup>/s, ám a vízhozamát a Duna áradásakor a Duna visszaduzzasztó hatása jelentősen befolyásolhatja. A Mosoni-Duna átlagos szélessége 60 m, átlagos vízmélysége 4 m. A vizsgált terület közepén, Gönyűnél (1790,61 fkm) található az a vízrajzi monitoring állomás, amelynek szelvényében történt az adatgyűjtés (vízállás rögzítése, expedíciós vízhozam- és lebegtetett hordalékmérés).

A monitoring állomástól alig 1 km-re alvízi irányban a meder jelentősen kiszélesedik, a Duna több mint 100 m szélessé válik. A főmeder hajózhatóságának biztosítása és fenntartása érdekében korábban kiterjedt folyószabályozási munkálatokat hajtottak végre. Az Erebe-mellékágrendszer (I. ábra) ezen a kiszélesedő szakaszon belül található az 1789,48 és 1785,31 fkm között. A mellékágrendszeren belüli szigetek és mellékágak szinte teljesen védve vannak a főági hatásoktól a megfelelő hajózási feltételeket biztosító vezetóműveknek köszönhetően. A mellékág bejáratát egy fenékküszöb zárja el úgy, hogy középvízi vízjárás alatt jelenleg semmiféle kapcsolata nincsen a mellékágnak a Dunával, azaz nincs biztosítva a vízutánpótlása. Ennek ellenére a mellékág jelentősen kitett a Mosoni-Duna hordalékcsóvjá hatásainak.

A mellékágrendszerben kialakuló alacsony áramlási sebességek, valamint az áradások során szállított nagy mennyiségű hordalék és szerves anyag miatt a feliszapolódás kifejezetten jelentős. A feliszapolódást tovább fokozza a növényzet és az erdők fejlődése. Bár ezek az erdős területek ökológiai szempontból értékesek és fokozottan védettek, ám a közelmúltban aggasztóan csökkent a biodiverzitás és a mellékág formakincsének egyszerűsödése következett be. Ennek ismeretében sürgősen szükség van a mellékágrendszer revitalizációjára, a feliszapolódott réteg kotrására és a mellékágrendszer folyamatos vízutánpótlásának megoldására.

### Terepi adatgyűjtés

Ebben a tanulmányban egy 3D numerikus hordaléktranszport-modellt adaptáltunk átfogó, terepi lebegtetett hordalékmérésből származó adatok és a lebegtetett hordaléktöménység térbeli változékonyságának értékelése alapján. A terepi adatgyűjtést a SEDDON II elnevezésű Interreg V-A Ausztria-Magyarország Együttműködési Programban megvalósított projektben hajtottuk végre. A lebegtetett hordaléktranszport 3D-s eloszlásának leírása érdekében a mintaterületen 1-1 szelvényben (I. ábra) a projekt keretében 2018-2022 között eseti jelleggel vízmintákat gyűjtöttünk egy US P-61-A1 izokinetikus mintavévelel. A mintavételi pontok helyét a többpontos módszer (Haimann és társai 2014) alapján határoztuk meg, amely előírja a függőleges számát és helyzetét a szelvényben belül (itt: öt, egyenlő távolságban megválasztott függőleges a főmederben), illetve megadja az egyes mintavételi pontok helyzetét a függőlegeseken belül (azaz a mért vízmélység 5, 20, 60, 80 és 95%-ánál). A módszert magyar nyelven Pomázi és társai (2020) ismertette. Ez a megközelítés lehetővé tette a lebegtetett hordalékvándorlás szisztematikus feltérképezését a monitoring szelvényben. Ezzel párhuzamosan áramlásméréseket végeztünk egy 1200 kHz ADCP (akusz-

tikus Doppler elvű áramlásmérő) műszerrel a függőleg menti sebességprofilok előállítására céljából. Emellett mozgójármű ADCP méréseket is végeztünk a vízhozam meghatározására. A vízhozam és a lebegtetett hordalék adatok a modell legfontosabb bemeneti adataiként szolgáltak.

A vízminták lebegtetett hordaléktöménységét laboratóriumban határoztuk meg a hagyományos szűrőpapíros módszerrel (Pomázi és társai 2020). A hordaléktöménységen kívül a lebegtetett hordalék szemösszetételét is meghatároztuk a Sequoia Scientific által gyártott LISST-Portable XR lézerdiffrakciós műszerrel (Pomázi és Baranya 2020). A szelvény menti teljes lebegtetett hordalékhozamot a Haimann és társai (2014) alapján Pomázi és társai (2020) által magyar nyelven ismertett módszertan segítségével számítottuk. A kg/s-ban számszerűsített lebegtetett hordalékhozam a hordaléktöménység és az áramlási sebesség szorzatának a teljes keresztmetszeti területen történő integrálásának az eredménye.

### Numerikus modellezés

#### Az alkalmazott modell

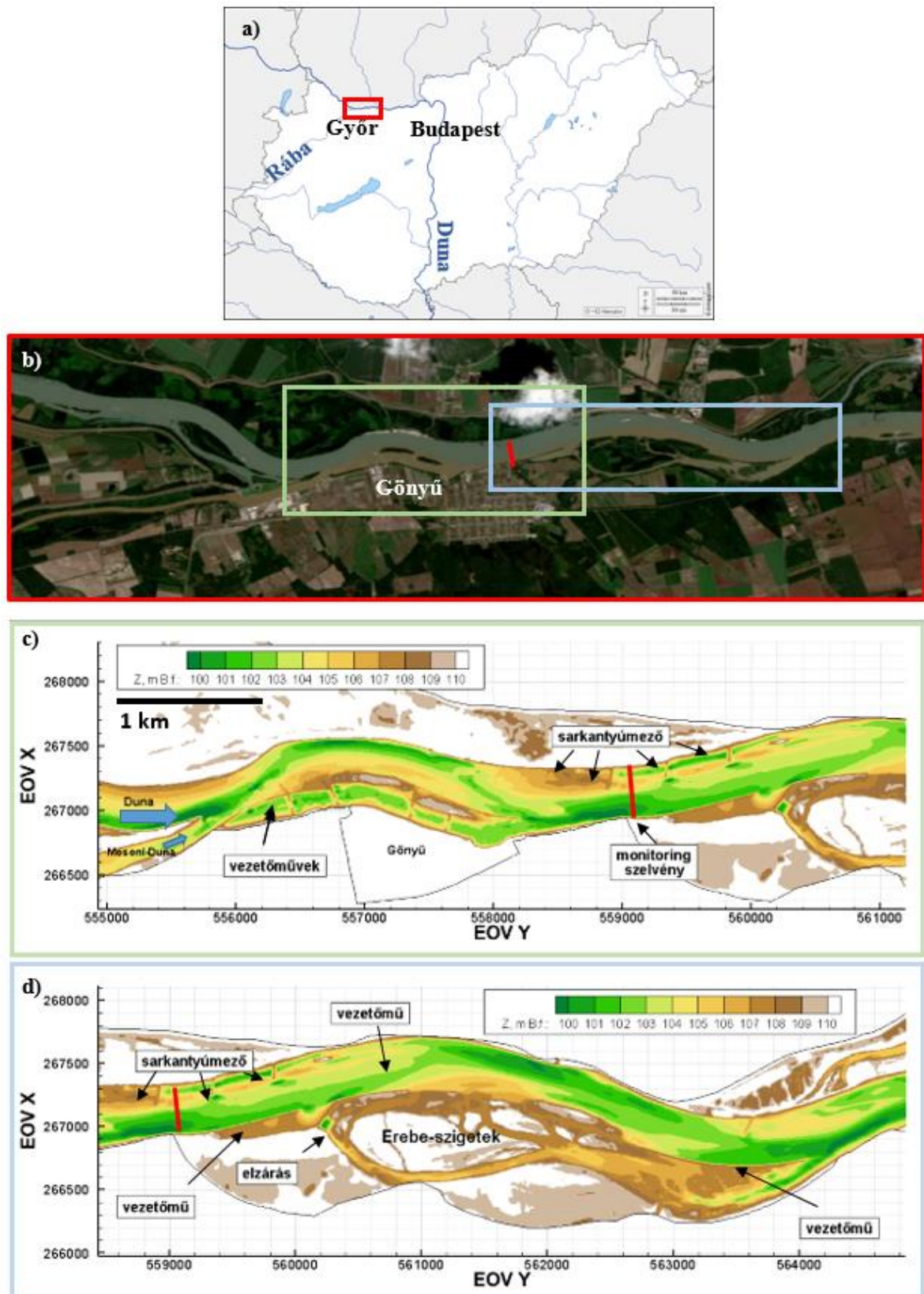
A hidrodinamikai és hordaléktranszport-folyamatok modellezése a SSIIM (Sediment Simulation in Intakes with Multiblock Option; Olsen 2009) modellel történt. Korábbi tanulmányokban a modellt már sikeresen adaptálták különböző tér- és időbeli felbontásokban, Olsen (2003, 2021) meanderező és fonatos medrek fejlődését vizsgálta; Havn és társai (2013) feliszapolódási szimulációkat végeztek egy vízerőművi tározó esetében, Baranya és társai (2013) két folyó összefolyásánál elemezték a turbulens viszonyokat, Török és társai (2017) a folyómeder helyi kimosódását, illetve páncélozódását modellezték, Olsen és Hillebrand (2018) pedig hosszú távú kotrási szimulációt végzett egy tározó esetében.

A modell a véges térfogat módszerrel oldja meg a Reynolds-átlagolt Navier-Stokes (Reynolds Averaged Navier-Stokes – RANS) egyenleteket. A turbulens jelenségek figyelembevételéhez a modell a  $k-\epsilon$  modellt használja, amely kiszámítja a turbulenciaszinteket a modelltartományon belül. A modell a lebegtetett hordalék vándorlását a lebegtetett hordaléktöménységre felírt advekciós-diffúziós egyenlettel (I. egyenlet) írja le:

$$v_s C + D_z \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

ahol:  $v_s$  az ülepedési sebesség,  $C$  a lebegtetett hordaléktöménység,  $D_z$  a függőleges irányú diffúziós együttható,  $z$  a vizsgált pont vertikális helyzete.

A modell több, különböző szemcseméretű és ülepedési sebességű hordalékfrakciót képes egyszerre szimulálni. A modelltartomány diszkretizálása vízszintesen strukturált rácshálóval történik, az átlagos cellaméret 15 x 6 méter (hossz- és keresztirányban). Függőleges irányban a helyi vízmélységtől függően változó számú, maximum 21 réteget alkalmaztunk az áramlási és a lebegtetett hordalékvándorlási jellemzők vertikális változásainak leírása érdekében. A medererdesség a folyómeder jellemző szemcsemérete alapján került meghatározásra. Ehhez a van Rijn (1984a) alapján  $3d_{90}$ -ben meghatározott, úgynevezett érdességi magasságot használtuk, ahol  $d_{90}$  az a szemcseméret, amelynél a hordalékminta 90%-a finomabb. A mederfenék közeli úgynevezett egyensúlyi hordaléktöménység területileg és áramlási viszonyoktól függő értékeit van Rijn (1984b) lebegtetett hordalékvándorlásra kifejlesztett modelljével adtuk meg.



1. ábra. A vizsgált Duna-szakasz több nézete: a) a vizsgált szakasz földrajzi elhelyezkedése; b) műholdfelvétel (Sentinel-2) a vizsgált szakasról (piros: mintaterület, kék és zöld keret: vizsgált szakaszok); c) folyószabályozási művek a vizsgált terület felső szakaszán (zöld keret a műholdfelvételen); d) folyószabályozási művek a vizsgált mellékágrendszer közvetlen környezetében (kék keret a műholdfelvételen)

Figure 1. Multiple views of the study reach at the Danube River: a) geographic location of the study reach in Hungary; b) satellite image (Sentinel-2) of the study reach (red: monitoring cross section, blue and green boxes: studied sections); c) training works along the upper section of the study reach (green box in the satellite image); d) training works around the studied side arm system of the study reach (blue box in the satellite image).

A modellvizsgálatokat különböző víz- és hordalékjárási forgatókönyv esetére végeztük el *Pomázi és Baranya (2022)* munkájának eredményei alapján:

i) az első változatban a Duna középvízhozama ( $Q_{D1} = 1\,953\text{ m}^3/\text{s}$ ) és a Mosoni-Duna (Rába) nagyvize találkozik;

ii) a második és harmadik változatban a Duna nagyvize ( $Q_{D2} = 4\,302\text{ m}^3/\text{s}$ , illetve  $Q_{D3} = 5\,621\text{ m}^3/\text{s}$ ) mellett a mellékfolyó hatása elhanyagolható.

A lebegtetett hordalék szemösszetétele *Pomázi és Baranya (2022)* tanulmánya eredményei alapján került meghatározásra. A tanulmányban meglehetősen homogén szemösszetételt mutattak ki a vizsgált területen, ezért a lebegtetett hordalékot két különböző méretosztályba soroltuk, ahogyan az az 1. táblázatban látható. Az első méret-

osztály a lebegtetett hordalék jellemző frakciójának felel meg, amely főként  $20\ \mu\text{m}$  medián átmérőjű iszapszemcsékből áll. A második méretosztály a durvább frakciót képviseli, amely finom homokszemcsékből épül fel ( $d = 63\ \mu\text{m}$ ). Az egyes méretosztályokba tartozó hordalékcszemcsék ülepedési sebességének számítása a *Ferguson és Church (2004)* által javasolt explicit egyenlet szerint történt, az egyes méretosztályok medián átmérőjét véve a számítás alapjául. Ez az univerzális egyenlet minden szemátmérőre érvényes a kvarc-sűrűségű szemcsék esetében, beleértve a homokfrakció átmeneti mérettartományát is. Ez a paraméterezési módszer lehetővé tette a lebegtetett hordalék ülepedésének reális leírását a modellben. *Pomázi és Baranya (2022)* megállapításai alapján a homokfrakció aránya 10% középvízi, és 15% nagyvízi körülmények között.

1. táblázat. A lebegtetett hordalék szemcseméret-osztályai (átlagos szemátmérő, ülepedési sebesség és előfordulási valószínűség)

Table 1. Size classes of suspended sediment (median particle sizes, settling velocities and probabilities in the particle size distribution, respectively)

Osztály	Átlagos szemátmérő	Ülepedési sebesség	Előfordulás
1	$6,3 \cdot 10^{-4}\text{ m}$	$9,78 \cdot 10^{-2}\text{ m/s}$	10-15%
2	$2 \cdot 10^{-5}\text{ m}$	$1,20 \cdot 10^{-3}\text{ m/s}$	85-90%

Modellvizsgálataink során nem végeztünk hagyományos értelemben vett kalibrációt, azaz a különféle modellparaméterek beárnyosítását. A hidrodinamikai modell szabad paramétereit, a mederérdességet, helyszíni mederanyag-mintavételezés alapján határoztuk meg. A transzportmodellben a vizsgált jelenségek – csóvaterjedés, illetve kiülepedés – leírására legmegfelelőbbnek bizonyuló advekción-diffúziós egyenletben két szabad paraméter van: a diffúziós együttható ( $D_z$ ) esetén az irodalmi értéket használtuk, míg az ülepedési sebesség ( $v_s$ ) a vizsgált szemösszetételi tartományon nem bizonyult érzékenynek. Ennek megfelelően a továbbiakban a modell igazolása történt meg.

### Revitalizációs modellváltozatok

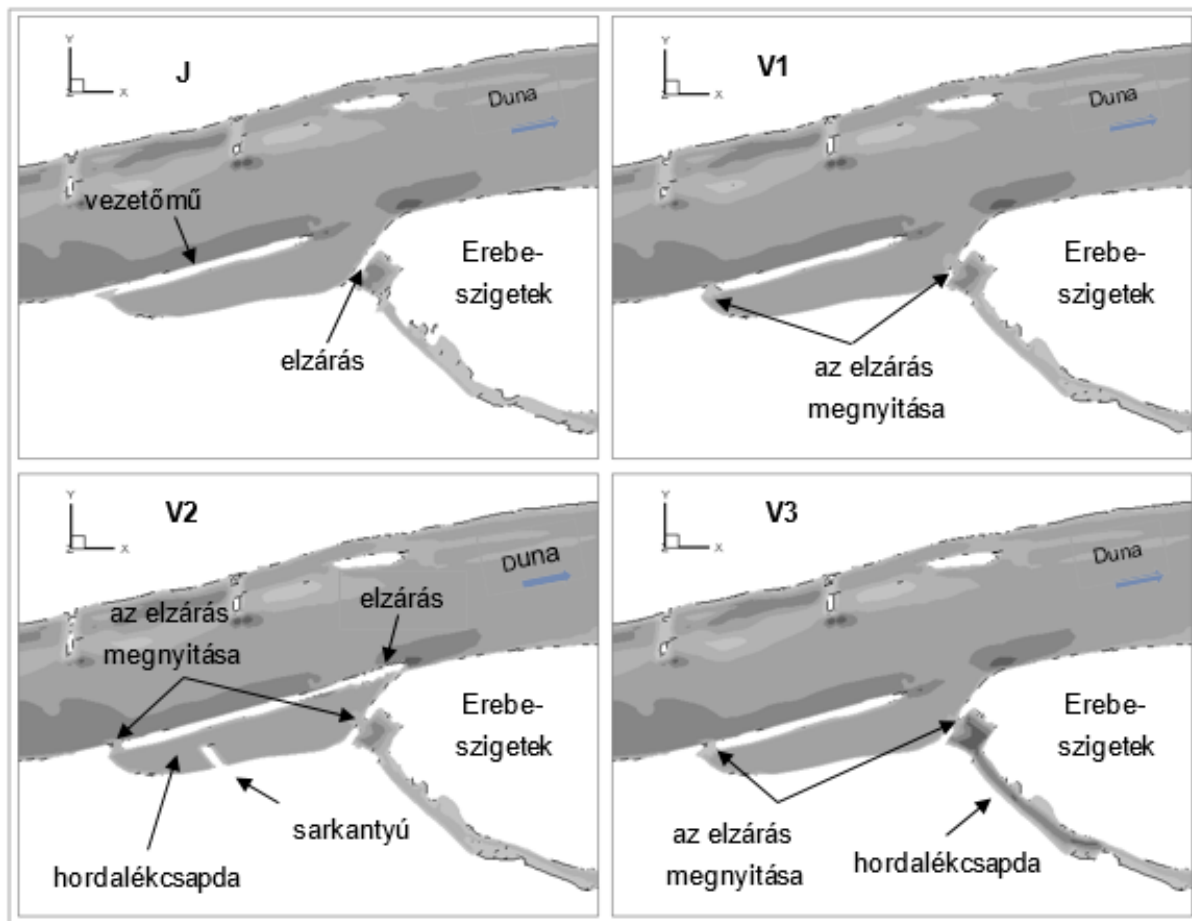
Az igazolt modellel mellékág-revitalizációs beavatkozások hatásait is vizsgáltuk. Három különböző vizsgálati esetet (2. ábra, V1-V3) modelleztünk:

V1) a mellékág elzárásának részleges megnyitása – annak érdekében, hogy a vízutánpótlás a jelenleginél alacsonyabb vízállások idején is biztosítva legyen – egyidejűleg a vezetómű átvágásával, meghosszabbítva ezáltal a mellékágba jutó víz (és hordalék) útját;

V2) az előző változatot kiegészítve a vezetómű túlloldali lezárásával, valamint egy kisebb sarkantyú beépítésével a vezetómű mögötti medencébe, így alakítva ki egy hordalékcsapdát egy könnyen hozzáférhető helyen;

V3) az első változatot kiegészítve a folyómeder 5 m-es mélyítésével úgy, hogy a mederszintje megegyezzen az elzáró fenékküszöb mögötti hordalékcsapda fenékszintjével a mellékág első 500 m-es szakaszán.

A beavatkozások hatásait abban az esetben vizsgáltuk, amikor a Dunában átlagos a vízhozam ( $Q_D = 1\,801\text{ m}^3/\text{s}$ ), de azt jelentősen befolyásolja a hordalékban gazdag mellékfolyó nagyvízhozama ( $Q_M = 152\text{ m}^3/\text{s}$ ).



2. ábra. A modellezett beavatkozások áttekintő ábrája

(J: jelen állapot; V1: az elzárás megnyitása; V2: az elzárás megnyitása és hordalékcsapda kialakítása a mellékág előtti medencében; V3: az elzárás megnyitása és hordalékcsapda kialakítása a mellékágban)

Figure 2. Schematic view of the modelled measures

(J: current state; V1: inlet opening; V2: inlet opening with sediment trap before the side arm; V3: inlet opening with sediment trap in the side arm)

A tanulmányban bemutatásra kerülő modellváltozatok áttekintését a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A modellváltozatok áttekintő táblázata (SSC: lebegtetett hordaléktöménység)  
Table 2. Summary table of the modelled scenarios (SSC: suspended sediment concentration)

Vízállási állapot	Duna		Mosoni-Duna		Bemenő adatok forrása	Célok
	Q <sub>D</sub> , m <sup>3</sup> /s	SSC, mg/l	Q <sub>t</sub> , m <sup>3</sup> /s	SSC, mg/l		
1	1 801	42	152	395	terepi mérések	igazolás
2	4 195	273	107	225		
3	5 531	609	90	269		
<b>Változatoknál alkalmazott vízállási állapot</b>						
<b>Változat jele</b>						
J, V1, V2, V3	1 801	42	152	395	Q: statisztika, SSC: hordalék-hozam-görbék	beavatkozások hatásvizsgálata

## EREDMÉNYEK

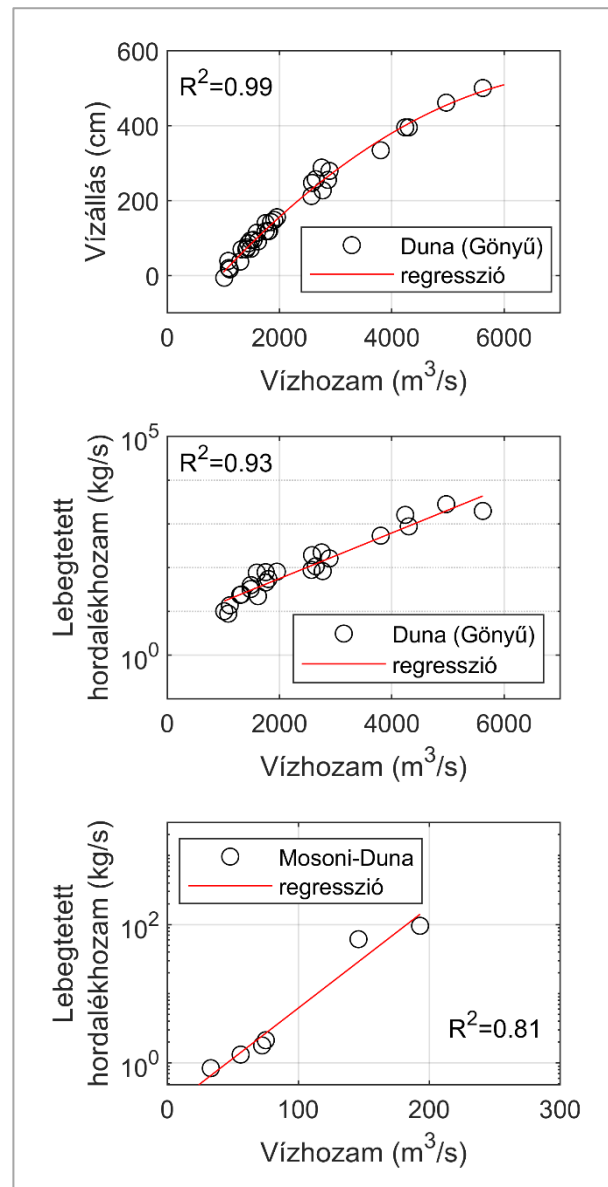
### Víz- és hordalékhozam-görbék

A SEDDON II projekt keretében (Baranya és társai 2022) 2018 és 2022 között végzett számos expedíciós terepi mérési kampány lehetővé tette a hidromorfológiai paraméterek közötti összefüggések (hozamgörbék) (3. ábra) meghatározását mind a gönyüi vízrajzi állomás szelvényében, mind a Mosoni-Duna egy álta-

lunk megválasztott szelvényében. Míg a Duna esetében az illesztett regresszió nagyon erős ( $R^2 > 0,80$ ), addig a Mosoni-Dunán végzett jóval kevesebb számú mérés nagyobb bizonytalanságot eredményezett. A hozamgörbék kiemelkedő jelentőséggel bírnak a különféle hidromorfológiai tanulmányok készítése során és alapvető eszközként szolgálnak például a hatásvizsgálatok, illetve modellezési tanulmányok elvégzésekor.

A felállított hozamgörbék segítségével a modell bemeneti adatai, mint például a vízhozam, a vízszint és a lebeg-

tett hordalékhozam (vagy -töménység) könnyen meghatározhatóak bármely, szimulációt igénylő feladathoz.



3. ábra. A vízállás és a vízhozam (fent), illetve a vízhozam és a lebegtetett hordalékhozam (középen) között a Duna 1790,61 fkm szelvényében felállított kapcsolat; és a vízhozam és a lebegtetett hordalékhozam között a Mosoni-Duna 0,30 fkm szelvényében felállított kapcsolat (lent)

Figure 3. Rating curves of water stage-flow discharge (top) and flow discharge-suspended sediment load (middle) in the studied cross section of the Danube River (1790,60 rkm); flow discharge-suspended sediment load rating curve for the tributary (0,30 rkm) (bottom)

További mérési eredmény, hogy még a korlátozott számú diszkrét (pontbeli) mintavételezéssel is lehetséges volt a lebegtetett hordalékvándorlás szelvény menti változékonyságának detektálása, amelyet Pomázi és Baranya (2022) már bemutatott, mozgóhajós akusztikus hordaléktérképezések alapján. A szelvény mentén végzett ADCP mérések kalibrálása útján előállított hordaléktöménység-mezők jelentős szelvény menti inhomogenitást mutatnak, amelyet a Duna és a hordalékban gazdag Mosoni-Duna vízhozamának úgynevezett relatív különbsége határoz meg (Pomázi és Baranya 2022).

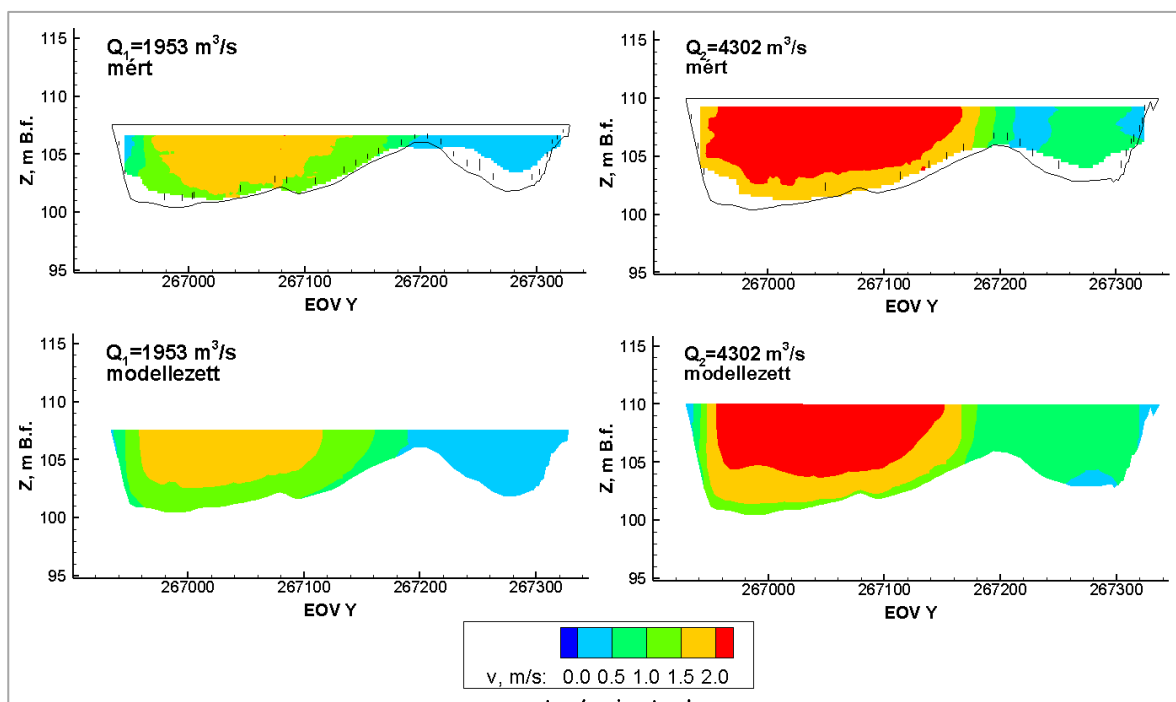
#### A 3D hidromorfológiai modell igazolása

A hidrodinamikai modellt részletes ADCP mérésekkel igazoltuk. Összességében eltérő hidrológiai állapotokra jó egyezést mutat a mért és a modellezett áramlási sebességek közötti összehasonlítás, ami a modell pontosságát jelzi. A 4. ábra a mért és a szimulált áramlási sebességek összevetését mutatja a vízrajzi állomás szelvényében. A modell sikeresen reprodukálja az áramlási sebességek térben változó jellegét, amelyet a bal part mentén lévő sarkantyúmező okoz. Az átlagos vízhozam alatt (azaz < 2 200 m<sup>3</sup>/s-os vízhozamnál) (4. ábra, balra) a mo-



dell jól reprodukálja a sarkantyú mögötti területre jellemző alacsony áramlási sebességeket. Másrészt, amikor a vízszint meghaladja a középvízszintet, a víz átbukik a sarkantyún, aminek

eredményeképpen már a sarkantyú mögötti zóna is aktívan részt vesz a vízszállításban. A modell jól visszaadja ezt a dinamikus folyamatot, amint azt a 4. ábra (jobbra) mutatja.



4. ábra. A mért és modellezett áramlási sebességek összehasonlítása

Megjegyzés: az ADCP mérésben rejlő limitációk hangsúlyozása érdekében a szelvény széle a fekete körvonallal, míg az ADCP által nem mért terület üres

Figure 4. Comparison of measured and modelled flow velocities

Note: to highlight the limitations in the ADCP measurements, the edge of the cross section is marked by a continuous black line, while the unmeasured area is blanked

A hordaléktransport-modell igazolási folyamata során összehasonlítottuk a terepi, fizikai mintavételből kapott pontszerű lebegtetett hordaléktöménységeket a szimuláció által kapott értékekkel (5. ábra, balra). Ezt az összehasonlítást a mért lebegtetett hordaléktöménység reprezentatíván széles tartományán tettük meg. Az igazolás elsődleges célja az volt, hogy felmérje a modell pontosságát és megbízhatóságát a lebegtetett hordalékszállítás térbeli változékonyságának reprodukálásában. Az első változatban a Duna középvízhozama és a Mosoni-Duna (Rába) nagyvize találkozik – ekkor a mellékfolyó hordaléksóvája még a monitoring szelvényben is szembevető (5. ábra, jobbra lent). A második változatban a Duna nagyvize mellett a mellékfolyó hatása elhanyagolható – a legmagasabb lebegtetett hordaléktöménység a szelvény közepén jelentkezik (5. ábra, jobbra középen és fent). A mért és modellezett értékek közötti eltérésről elmondható, hogy nagyságrendje megegyezik a mérési módszertanban rejlő bizonytalanságokéval (Pomázi és Baranya 2020).

Az egyes változatokhoz tartozó bizonytalanságok, illetve a lebegtetett hordalékvándorlás térbeli mintázatának összetettsége ellenére a modell jó egyezést mutatott a mért adatokkal. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az alkalmazott modellezési megközelítés valóban alkalmas a lebegtetett hordalékvándorlási folyamatok szimulálására.

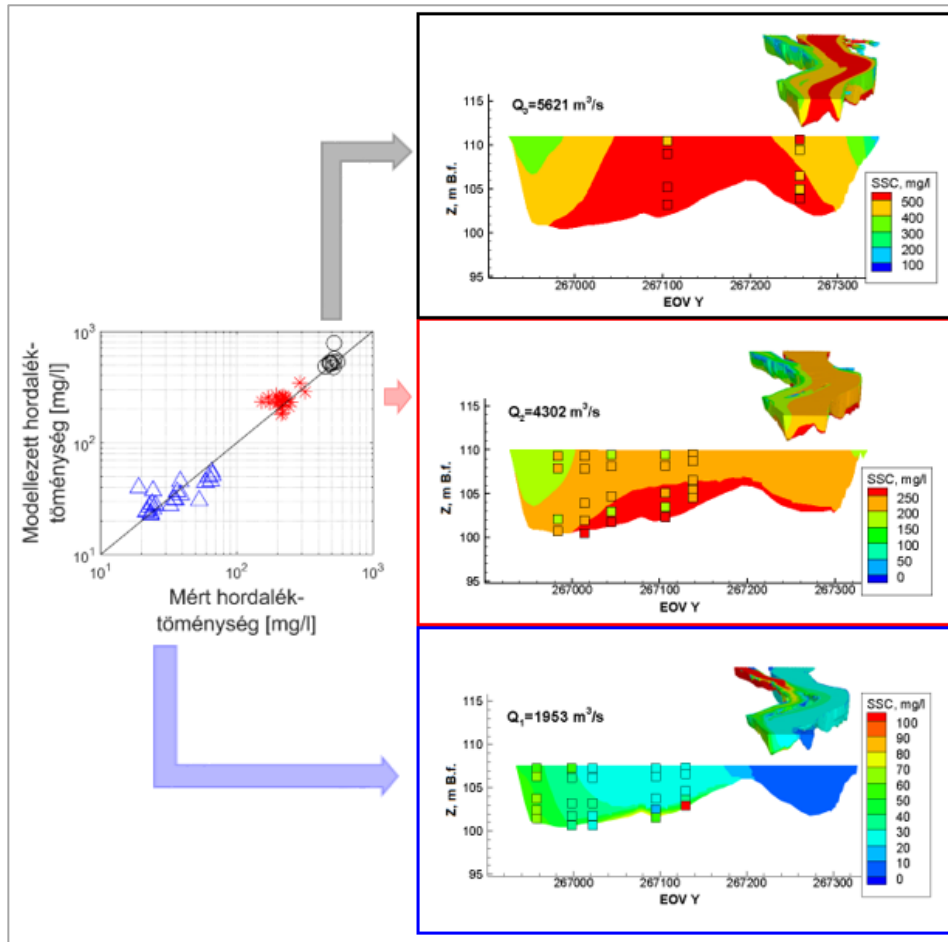
#### A revitalizációs beavatkozások hatása a mellékág feliszapolódására

A Duna vizével nem keveredő hordaléksóva útját a meder hidromorfológiája határozza meg, ami azt jelenti, hogy

a külső ívekben a jobb part felé tolódik, míg belső ívekben a szelvényen belül tágul (1c. ábra). Amikor a hordaléksóva eléri a mellékágrendszer, még mindig jelentős hordaléktöménységgel rendelkezik. A jelenlegi (referencia) állapotban (6. ábra, J) a hordaléksóva egy kis része befolyik a vezetőmű mögötti medencébe és mivel nem jut be a mellékágba, ez a zavaros víz a medencében örvénylik, majd végül kiülekszik belőle a hordalék (7. ábra, J). A mellékág alvízi vége nyitott, így ki van téve a Duna visszaáramlásának és a visszaduzzasztó hatásoknak is. Mivel a jelen állapotban lényegében nincs vízmozgás a mellékágban, az alvízi végen nagy mennyiségű lebegtetett hordalék rakódik le a hordaléksóvából. Az elzárás első változat szerinti megnyitása esetén (6. ábra, V1) 25 m<sup>3</sup>/s vízhozam lép be a mellékágba. Ugyanakkor 20 mg/l lebegtetett hordalék is bejut a mellékágba. Bár a hordaléksóvából származó hordalék egy részét késleltetni lehet a vezetőmű átvágásával, a mellékág potenciális feliszapolódása várható (7. ábra, V1), ami rendszeres kotrást tesz szükségessé. A második beavatkozás (6. ábra, V2) esetén ugyanakkora bejutó vízhozam biztosított, ám a hordaléksóva útjának meghosszabbításával. A vezetőmű mögötti medencében kialakított sarkantyú nemcsak a hordaléksóva útját tereli el, hanem hatékonyan csapdázza is a hordaléket (7. ábra, V2). Ebben a változatban a mellékágba bejutó lebegtetett hordalékterhelés csupán egyötöde az előzőnek. A mellékágba bejutó, kis mennyiségű lebegtetett hordalék aztán lényegében azonnal le is rakódik. A harmadik változatban (6. ábra,

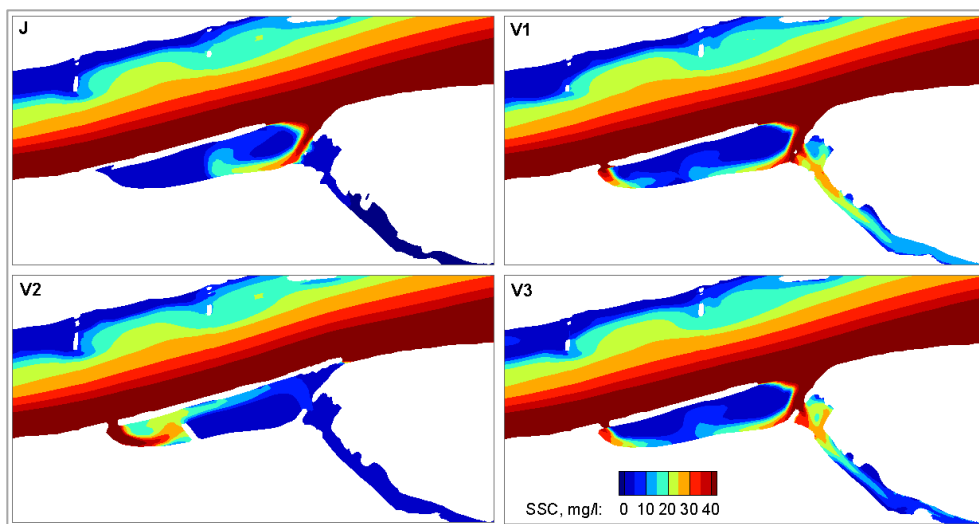
V3) a mellékágba bejutó vízhozam megegyezik a korábbiakkal, a mellékágba bejutó hordaléktöménység pedig 20 mg/l, mint az első változatban. A lebegtetett hordalék

nagy része azonban a mellékág első 500 m-én kimélyített szakaszán le is rakódik (7. ábra, V3), ezáltal a hordaléklerakódás egy kisebb területen koncentrálódik.

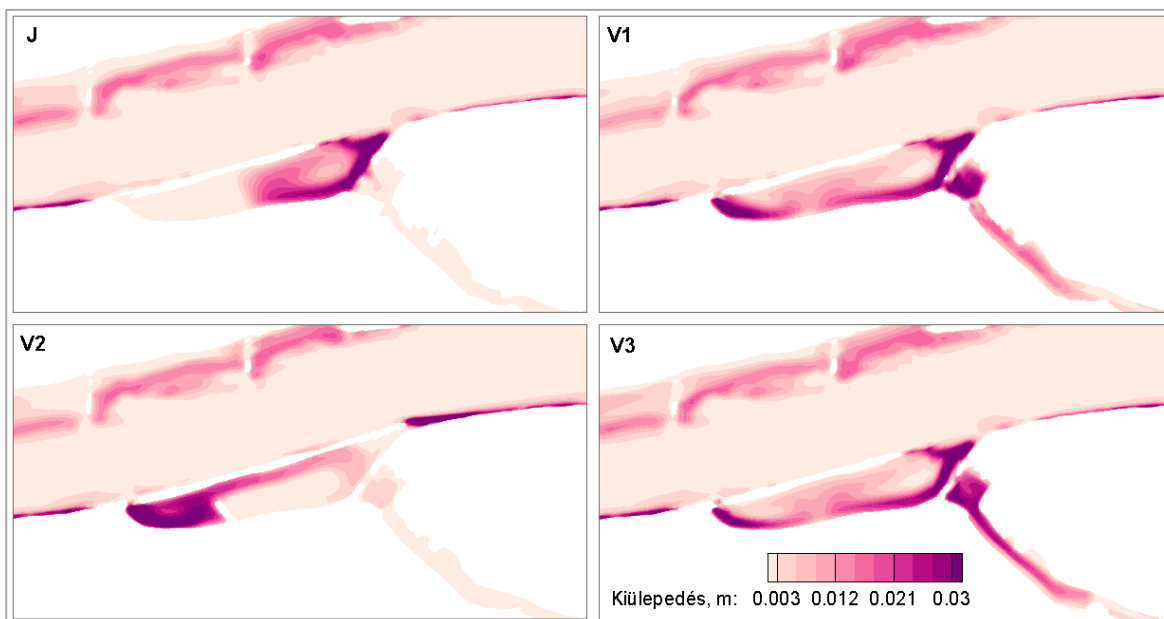


5. ábra. A mért és modellezett lebegtetett hordaléktöménység összehasonlítása (a három változat eredménye különböző színnel) (bal); és a diszkrét mérésekből származott lebegtetett hordaléktöménység összehasonlítása a modellezett lebegtetett hordaléktöménység-mezővel (lent: dunai középvíz a mellékfolyó jelentős hozzájárulásával; fent és középen: dunai nagyvíz a mellékfolyó elhanyagolható hozzájárulásával) (jobb)

Figure 5. Comparison of measured and modelled concentrations (with different colours for the three model scenarios) (left); and comparison of measured (discrete points) and modelled (contour plot) distribution of concentration (bottom: normal water regime with significant tributary inflow; top and middle: high flow regime with negligible tributary inflow) with miniature top views (right)



6. ábra. A lebegtetett hordaléktöménység eloszlása az egyes változatokban (J: jelen állapot; V1-V3: vizsgált beavatkozások)  
Figure 6. Comparison of the SSC distribution in each modelled scenario (J: current state; V1-V3: investigated measures)

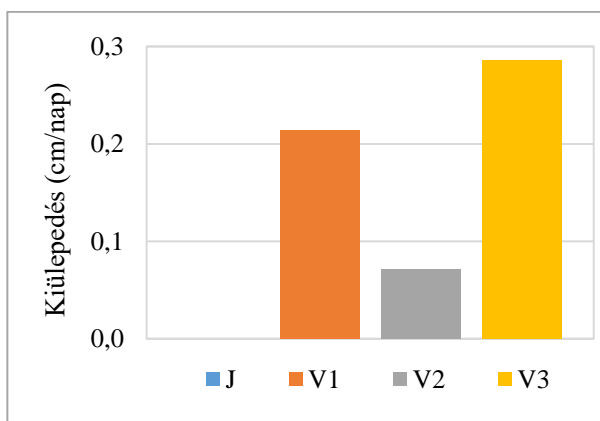


7. ábra. A kiülepedett hordalék eloszlása az egyes modellváltozatokban (J: jelen állapot; V1-V3: vizsgált beavatkozások)  
 Figure 7. Comparison of the deposited sediment in each modelled scenario (J: current state; V1-V3: investigated measures)

A 3. táblázat tartalmazza a változatok összehasonlító táblázatához meghatározott változókat. Az egyes változatok során kiülepedő hordalékmennyiség alakulását a 8. ábra szemlélteti.

3. táblázat. Az eredmények összefoglaló táblázata (J: jelen állapot; V1-V3: vizsgált beavatkozások)  
 Table 3. Summary table of results (J: current state; V1-V3: investigated measures)

Paraméter	Modellváltozat			
	J	V1	V2	V3
Átlagos áramlási sebesség a mellékágban (m/s)	0	0,25	0,25	0,25
A mellékágba jutó hordaléktöménység (mg/l)	0	20	4	20
Átlagos hordaléktöménység a mellékág első 500 m-én (mg/l)	0	17	4	10
Hordaléktöménység a mellékág Duna által befolyásolt végén (mg/l)	35	10	5	10
Átlagosan kiülepedett hordalék a mellékágban (cm/nap)	0	0,21	0,07	0,29
Átlagosan kiülepedett hordalék a mellékág első 500 m-én (cm/nap)	0	2,14	0,71	4,29
Átlagosan kiülepedett hordalék a mellékág végén (cm/nap)	0,29	0,14	0,14	0,14



8. ábra. A hordalék kiülepedésének átlagos intenzitása az egyes változatokban (J: jelen állapot; V1-V3: vizsgált beavatkozások)  
 Figure 8. The average intensity of sediment deposition in the modelled scenarios (J: current state; V1-V3: investigated measures)

## DISZKUSSZIÓ

### A 3D modellezés adatigénye

A háromdimenziós morfodinamikai modellek megfelelő igazolása jelentős kihívást jelent a szükséges terepi adatok (pl. medergeometria, vízállás, vízhozam, lebegtetett hordalékhozam) miatt. Az ilyen terepi adatok rendelkezésre állása gyakran igen bizonytalan. A hordaléktranszport-modellek igazolása jellemzően alkalmi helyszíni mérésekből vagy folyamatos, de pontszerű monitoringból származó adatok összehasonlításával történik. A korlátozott tér- és időbeli felbontás azonban akadályozza a modellek megfelelő igazolását. A hordaléktranszport-modellek eredményeit leggyakrabban a lebegtetett hordaléktöménység profiljával (*Zhang és társai 2021*), idősorokkal (*Xie és társai 2019*), szelvény menti eloszlásokkal (*Haimann és társai 2018*) vagy morfológiai változásokkal (*Olsen és Hillebrand 2018*) hasonlítják össze, de akár műholdfelvételek is felhasználhatók a lebegtetett hordaléktranszport értékelésére (*Tu és társai 2019*).

### Térbeli inhomogenitás

Hordalékcsóvák elkeveredésének vizsgálata során kihívást jelent a jelenség tér- és időbeli változékonysága, amit igen nehéz felmérni pusztán terepi mérésekkel. Számos rövid idejű tanulmány tett kísérletet ilyen esetek modellezésére. *Haimann és társai (2018)* például folyami kotrások optimalizálását vizsgálták a Duna egy szakaszán kis- és középvízes áramlási viszonyok mellett, *Trithart és társai (2019)* pedig a Duna egyik mellékfolyóján (Inn) lévő tározóból leeresztett hordalék terjedését vizsgálták közép- és nagyvíz esetén, illetve egy csapadékesemény során. Mindkét tanulmány néhány terepi mérésre korlátozódott, és míg *Haimann és társai (2018)* szelvény és hossz menti akusztikus hordaléktérképezést végeztek a hordalékcsóva terjedésének követésére, addig *Trithart és társai (2019)* az ADCP visszavert jelerősségét kalibrálva, négy függőlegesen határozták meg a hordaléktöménység-profilokat a modell igazolásához. Ezzel szemben jelen tanulmány egy több évre kiterjedő ADCP mérésorozatból előállított hordaléktöménység-mezők elemzésén (*Pomázi és Baranya 2022*) alapul. A modell igazolásához célirányosan olyan méréseket választottunk ki, amelyek megfeleltethetők az előzőleg beazonosított mintázatoknak.

Amint azt *Pomázi és Baranya (2022)* mérései is mutatják, a vizsgált területen jelentős tér- és időbeli változékonyság tapasztalható a lebegtetett hordalékszállításban. A szerzők a szelvény menti eloszlás két különböző mintázatot azonosították a Duna és a Mosoni-Duna vízhozamának relatív különbsége alapján. Azonban a vizsgált területen a terepi mérések korlátai miatt kihívást jelent a jelenség elemzése, ugyanis ez az inhomogén térbeli eloszlás nem írható le megfelelően csak korlátozott számú pontban történő közvetlen mintavétellel. Még az olyan közvetett megközelítések is, mint az ADCP visszavert jelerősség kalibrálása, további vizsgálatokat igényelnek, mielőtt eredményeiket kvantitatív elemzésekre lehetne használni (*Pomázi és Baranya 2022*). Az ebben a tanulmányban bemutatott modellezési megközelítés azonban sikeresnek bizonyult a lebegtetett hordalékvándorlás inhomogén térbeli eloszlásának leképezésében. A beazonosított mintázatok

*és Baranya 2022*) alapján optimalizálható volt a korlátozott számú terepi mérésekből álló validációs adatkészlet. Ennek eredményeként néhány, de jelentősen széles hordaléktöménység-tartományt lefedő diszkrét mintavételezés elegendő volt a modell sikeres igazolásához. Bemutattuk, hogy a statisztikailag szignifikáns események modellezésével az alkalmazott megközelítés jelentősen hozzájárulhat a lebegtetett hordaléktranszport inhomogén tér- és időbeli változékonyságának hatásainak megismerésében.

*Zhang és társai (2021)* szintén egy pillanatképet mutattak be a lebegtetett hordaléktöménység inhomogén térbeli eloszlásáról a kínai Három-Szurdok-tározóban. A modellezett és mért profilok összehasonlítása közvetlenül a gát felvízi oldalán vertikális rétegződésre utalt, ám a felső és alsó rétegben akár 100%-os eltérés is tapasztalható volt a hordaléktöménységben. Tanulmányunkban, mely egy hordalékban gazdag mellékfolyó hatását vizsgálja, hasonló különbség figyelhető meg horizontálisan is. Míg *Zhang és társai (2021)* nem vette figyelembe például a gát különböző működésének hatását, addig a három kiválasztott hidrológiai forgatókönyv modellezésével jelen tanulmány képes volt széleskörűen bemutatni a vizsgált területen uralkodó térbeli mintázatokat.

Reprezentatív szimulációs eredmények és a hozzájuk tartozó műholdfelvételek vizuális összehasonlítása (*9. ábra*) továbbá azt sugallja, hogy a lebegtetett hordaléktöménység műholdképek alapján történő becslése, azaz a vízfelszín spektrális visszaverődése alapján (*Dethier és társai 2020*) hasznos lehet például a modell eredményeinek térben kiterjesztett igazolásában. A nagy mennyiségű hordalék miatt a Mosoni-Duna a Dunához képest rendkívül zavaros, és könnyen megkülönböztethető – akár például a Mekong-deltában szállított iszap (*Tu és társai 2019*).

### Revitalizációs beavatkozások támogatása

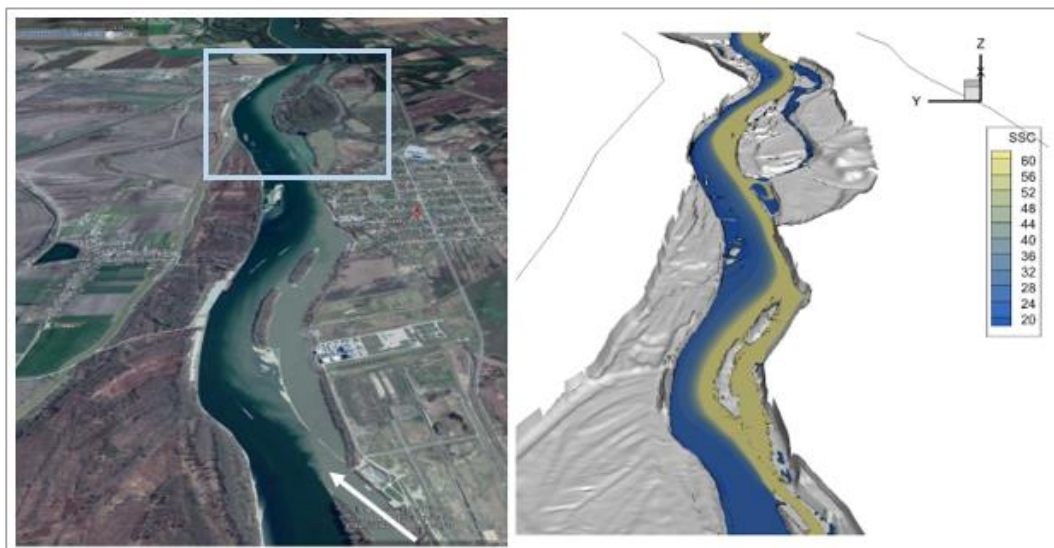
Számos folyami revitalizációs beavatkozásokat támogató numerikus modelltanulmánnyal találkozhatunk a szakirodalomban. Például *Glas és társai (2018)* a sarkantyú-kialakítás optimalizálását végezték el az osztrák Duna-szakaszon; *Binder és társai (2022)* természetalapú megoldásokat vizsgáltak szintén a Dunán, a hajózás biztosítása érdekében. *Glas és társai (2018)* tanulmánya a különböző sarkantyú-kialakítások lehetséges hatásait szimulálta kis-, közepes- és nagyvízi körülmények mellett. A hajózási útvonalban egy hónap alatt akár 0,20 m erózió is ki tudott alakulni. *Binder és társai (2022)* a folyó ökológiai funkciójának és a vízi élőhelyek fenntarthatóságának növelése érdekében mesterségesen kialakított kavicsszigeteket vizsgált. Az 1 hónapos szimuláció végén kb. 0,05 m erózió keletkezett a főmederben a telepített kavicsszigettel párhuzamosan, amely aztán a kavicssziget után lerakódott. Mindkét vizsgálat jelentősen hozzájárult a folyószabályozási intézkedések optimalizálásához. Az itt bemutatott esettanulmány hozzájárulása gyakorlatiasabb jellegű.

Esettanulmányunkban egy tipikus mellékág-revitalizációs beavatkozást mutattunk be, nevezetesen azt, hogy mi történik, ha a mellékág jelenlegi elzárását részlegesen megnyitják annak érdekében, hogy az ökológiailag szükséges vízutánpótlás az eddigieknél hosszabb időszakban bizto-

sítva legyen a mellékágban. Bemutattuk, hogy a jelenlegi állapotban a mellékágrendszernek középvíz alatt nincs kapcsolata a főággal, miáltal a mellékágrendszerben pangó víz alakul ki. A felállított hozamgörbék alapján tetszőleges vízjárási állapot szimulálható, itt most egy egyszerű, permanens állapotra vonatkozó esettel illusztráltuk, hogy hogyan támogathatja egy ilyen modellvizsgálat a beavatkozások tervezését. Mindhárom vizsgált revitalizációs beavatkozás megoldaná ezt a problémát, azonban egyúttal potenciális feliszapolódásnak téve ki ezzel a mellékágot. A modell eredményei alapján becsülhető, hogy mekkora mennyiségű hordaléktól mentesíthető a mellékág egy hordalécsapdával. A Mosoni-Duna kéthetes árhullámát véve például a Duna középvizes időszakában, az elzárás megnyitásával kb. 1 200 m<sup>3</sup> finom hordalék ülepszik ki a mellékág 3,75 km hossza mentén. A hordaléklerakódás eloszlása azonban optimalizálható, ha a kiülepedés egy jelentős részét a mellékág első 500 méterén, vagy akár még a mellékágba való bejutás előtt csapdázzuk. Mindkét megoldás kedvező, könnyen hozzáférhető helyet biztosítana a kotrási munkálatokhoz. A csapdázott hordalék becsült mennyiségének ismerete lehetővé tenné a költséges kotrási tevékenységek optimalizálását. Összehasonlításképpen, egy 1 hónapos szimuláció eredménye maximum 1,30 m lerakódást eredményezne a hordalécsapdában (Glas és társai 2018, Binder és társai 2022).

A különböző beavatkozások modellezésének egy további fontos szempontja a vízi élőhelyekre gyakorolt lehetséges hatásuk vizsgálata (Habersack és társai 2014, Tritthart és társai 2019, Fleit és társai 2020). Bár az Erebe-szigetek jelentős ökológiai értékkel bír, a témában való jártasság hiányában ezt a szempontot nem tudtuk figyelembe venni ebben a tanulmányban.

Ahogy a bevezetésben már említettük, az időközben megépült Mosoni-Duna torkolati műtárgy hatásainak vizsgálata sem képezhetette tárgyát a tanulmánynak, mivel alátámasztó méréseink még a megépülés előtti időszakban történtek. Azonban a modell alkalmas a műtárgy által megváltozott helyzet vizsgálatára is és tervezzük a hatásvizsgálat folytatását ezekre a helyzetekre is kiterjesztve.



9. ábra. A vizsgált terület madártávlatból – a Mosoni-Duna felől érkező hordalécsóva jelentősen befolyásolja a torkolattól 5 fkm-re található mellékágrendszert (tégllalappal jelölve). (bal: Google Earth Engine műholdfelvétel; jobb: modelleredmény)

Figure 9. Perspective view of the study area – the sediment plume from the Mosoni-Duna strongly influences the side-arm (squared area) system 5 km downstream of the confluence (left: Google Earth Engine satellite image; right: simulation result)

## ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatunkban bemutattuk, hogy egy, a Reynolds-Átlagolt Navier-Stokes egyenletekre épülő 3D hidrodinamikai számítógépes modell összekapcsolva a lebegtetett hordalékvándorlást leíró transzportmodellel alkalmas a hatékony eszköze a hidrodinamikai és a lebegtetett hordalékszálítási folyamatok numerikus leképezésére összetett geometriájú folyószakaszokon. A modelligazolást részletes, eltérő hidrológiai állapotokban végrehajtott áramlási sebesség és lebegtetett hordaléktöménység mérések alapján végeztük el. Ezáltal jó egyezést érthettünk el a szimulációs eredmények és a referenciaadatok között a vízhozam és a lebegtetett hordaléktöménység meglehetősen széles tartományában. Bár tapasztalható volt némi eltérés a mért és modellezett értékek között, ezek a különbségek a fizikai mintavételi, illetve a laboratóriumi elemzési módszerekben rejlő bizonytalanságok nagyságrendjébe esik. A modell sokoldalúsága és robusztussága lehetővé teszi, hogy

kellően pontosan modellezzük az áramlás és a hordalékdinamika közötti összetett kölcsönhatásokat, értékes betekintést nyújtva az összetett folyórendszerek viselkedésébe. Bemutattuk, hogy a modell képes reprodukálni a lebegtetett hordaléktöménység eloszlásának jelentős térbeli változékonyságát a vizsgált területen. Egy esettanulmányon keresztül bemutattuk a modellben rejlő lehetőségeket a folyó helyreállítási intézkedések támogatására. A modell alkalmazhatósága részletes előrejelzésre lehetővé teszi a döntéshozók számára, hogy megalapozott stratégiákat dolgozzanak ki a folyók helyreállítása, illetve szabályozása érdekében, amelynek célja például az ökológiai stabilitás biztosítása és az ökoszisztéma-szolgáltatások javítása.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

## IRODALOMJEGYZÉK

- Agrawal, Y.C., Hanes, D.M. (2015). The implications of laser-diffraction measurements of sediment size distributions in a river to the potential use of acoustic backscatter for sediment measurements. *Water Resources Research*, 51. pp. 8854-8867. <https://doi.org/10.1002/2015WR017268>
- Baranya S., Józsa J. (2010). ADCP alkalmazása lebegtetett hordalék-koncentráció becslésére. *Hidrológiai. Közlemény*, 90(3). pp. 17-22.
- Baranya S., Olsen, N.R.B., Józsa J. (2013). Flow analysis of a river confluence with field measurements and RANS model with nested grid approach. *River Research Applications*, 31. pp. 28-41. <https://doi.org/10.1002/rra.2718>
- Baranya S., Olsen, N.R.B., Stoesser, T., Sturm, T.W. (2014). A nested grid based computational fluid dynamics model to predict bridge pier scour. *Water Management*. 167(5). pp. 259-268. <https://doi.org/10.1680/wama.12.00104>
- Baranya S., Pomázi F., Dömötör Sz., Pessenlehner, S., Haimann, M., Gmeiner, P., Liedermann, M., Habersack, H. (2022). SEDDON II - T2.3.3 Field measurements: Summary report. Angol nyelvű projektjelentés.
- Binder, J., Glas, M., Hauer, C., Liedermann, M., Habersack, H., Tritthart, M. (2022). Kiesinseln an der Donau – naturbasierte Lösungen zum Erhalt der Wasserstraße. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 75. pp. 54-61. <https://doi.org/10.1007/s00506-022-00918-w>
- DanubeSediment (2020). Long-term Morphological Development of the Danube in Relation to the Sediment Balance. Angol nyelvű projektjelentés. <https://tinyurl.com/3vfhw4b4> (Letöltés dátuma: 2023.10.25.)
- Dethier, E.N., Renshaw, C.E., Magilligan, F.J. (2020). Toward Improved Accuracy of Remote Sensing Approaches for Quantifying Suspended Sediment: Implications for Suspended-Sediment Monitoring. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 125(7). <https://doi.org/10.1029/2019JF005033>
- Downing, J. (2006). Twenty-five years with OBS sensors: The good, the bad, and the ugly. *Continental Shelf Research*, 26. pp. 2299-2318. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2006.07.018>
- Ferguson, R.I., Church, M.A. (2004). A Simple Universal Equation for Grain Settling Velocity. *Journal of Sedimentary Research*, 74(6). pp. 933-937. <https://doi.org/10.1306/051204740933>
- Fleit G., Hauer, C., Baranya S. (2020). A numerical modeling-based predictive methodology for the assessment of the impacts of ship waves on YOY fish. *River Research Applications*, 37. pp. 373-386. <https://doi.org/10.1002/rra.3764>
- Gillefalk, M., Massmann, G., Nützmann, G., Hilt, S. (2018). Potential Impacts of Induced Bank Filtration on Surface Water Quality: A Conceptual Framework for Future Research. *Water*, 10, 1240. <https://doi.org/10.3390/w10091240>
- Glas, M., Tritthart, M., Liedermann, M., Pessenlehner, S., Habersack, H. (2018). Numerical groyne layout optimisation for restoration projects in large rivers: An adaptive approach towards a desired morphodynamic equilibrium. In A. Paquier & N. Riviere (Eds.), *Proceedings of the 9th International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow 2018*, Lyon-Villeurbanne; France, 5–8 SEP 2018 (Vol. 40, Issue 02002). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184002002>
- Gray, J.R., Gartner, J.W. (2009). Technological advances in suspended-sediment surrogate monitoring. *Water Resources Research*, 45. <https://doi.org/10.1029/2008WR007063>
- Guan, M., Liang, Q. (2017). A two-dimensional hydro-morphological model for river hydraulics and morphology with vegetation. *Environmental Modelling & Software*, 88. pp. 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.11.008>
- Guerrero, M., Szupiany, R.N., Amsler, M.L. (2011). Comparison of acoustic backscattering techniques for suspended sediments investigations. *Flow Measurement Instrumentation*, 22. pp. 392-401. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2011.06.003>
- Guerrero, M., Rütter, N., Szupiany, R., Haun, S., Baranya S., Latosinski, F. (2016). The acoustic properties of suspended sediment in large rivers: consequences on ADCP methods applicability. *Water*, 8,13. <https://doi.org/10.3390/w8010013>
- Habersack, H., Tritthart, M., Liedermann, M., Hauer, C. (2014). Efficiency and uncertainties in micro- and mesoscale habitat modelling in large rivers. *Hydrobiologia*, 729. pp. 33-48. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1429-x>
- Haimann, M., Liedermann, M., Lalk, P., Habersack, H. (2014). An integrated suspended sediment transport monitoring and analysis concept. *International Journal of Sediment Research*, 29. pp. 135-148. [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(14\)60030-5](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(14)60030-5)
- Haimann, M., Hauer, C., Tritthart, M., Prenner, D., Leitner, P., Moog, O., Habersack, H. (2018). Monitoring and modelling concept for ecological optimized harbour dredging and fine sediment disposal in large rivers. *Hydrobiologia*, 814. pp. 89-107. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2935-z>
- Haun, S., Kjærås, H., Løvfall, S., Olsen, N.R.B. (2013). Three-dimensional measurements and numerical modelling of suspended sediments in a hydropower reservoir. *Journal of Hydrology*, 479. pp. 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.060>
- Henning, M., Hentschel, B. (2013). Sedimentation and flow patterns induced by regular and modified groynes on the River Elbe, Germany. *Ecology* 6(4). pp. 598-610. <https://doi.org/10.1002/eco.1398>
- Lane, S.N., Parsons, D.R., Best, J.L., Orfeo, O., Kostaschuk, R.A., Hardy, R.J. (2008). Causes of rapid mixing at a junction of two large rivers: Río Paraná and Río Paraguay, Argentina. *Journal of Geophysical Research*, 113. <https://doi.org/10.1029/2006JF000745>
- Mead, A.A., Demas, C.R., Ebersole, B.A., Kleiss, B.A., Little, C.D., Meselhe, E.A., Powell, N.J., Pratt, T.C., Vosburg, B.M. (2012). A water and sediment budget for the

lower Mississippi-Atchafalaya River in flood years 2008-2010: implications for sediment discharge to the oceans and coastal restoration in Louisiana. *Journal of Hydrology*, 432. pp. 84-97.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.020>

Moate, B.D., Thorne, P.D. (2012). Interpreting acoustic backscatter from suspended sediments of different and mixed mineralogical composition. *Continental Shelf Research*, 46. pp. 67-82.

<https://doi.org/10.1016/j.csr.2011.10.007>

Moreira, D., Simionato, C.G. (2019). Modeling the Suspended Sediment Transport in a Very Wide, Shallow, and Microtidal Estuary, the Río de la Plata, Argentina. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11. pp. 3284-3304. <https://doi.org/10.1029/2018MS001605>

Mossa, J. (1996). Sediment dynamics in the lowermost Mississippi River. *Engineering Geology*, 45(1-4). pp. 457-479. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(96\)00026-9](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(96)00026-9)

Nienhuis, J.H., Ashton, A.D., Nardin, W., Fagherazzi, S., Giosan, L. (2016). Alongshore sediment bypassing as a control on river mouth morphodynamics. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 121(4). pp. 664-683. <https://doi.org/10.1002/2015JF003780>

Nones, M. (2019). Dealing with sediment transport in flood risk management. *Acta Geophysica*, 67. pp. 677-685. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00273-7>

Olsen, N.R.B. (2003). Three-Dimensional CFD Modeling of Self-Forming Meandering Channel. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(5). pp. 366-372. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:5\(366\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:5(366))

Olsen, N.R.B. (2009). A Three-Dimensional Numerical Model for Simulation of Sediment Movements in Water Intakes with Moving Option. Angol nyelvű felhasználói kézikönyv. The Norwegian University of Science and Technology.

Olsen, N.R.B. (2021). 3D numerical modelling of braided channel formation. *Geomorphology*, 375(15). <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107528>

Olsen, N.R.B., Hillebrand, G. (2018). Long-time 3D CFD modeling of sedimentation with dredging in a hydro-power reservoir. *Journal of Soils and Sediments*, 18. pp. 3031-3040. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1989-0>

Pomázi F., Baranya S. (2020). Nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának új vizsgálati módszerei 2. – Közvetlen és közvetett lebegtetett hordalékmérési eljárások összehasonlító vizsgálata. *Hidrológiai Közöny*, 100(3). pp. 64-73.

Pomázi F., Baranya S. (2022). Acoustic based assessment of cross-sectional concentration inhomogeneity at a suspended sediment monitoring station in a large river. *Acta Geophysica*, 70. pp. 2361-2377. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00805-8>

Pomázi F., Baranya S., Török G.T. (2020). Nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának új vizsgálati módszerei

1. – A továbbfejlesztett hordalékmonitoring módszertan bemutatása. *Hidrológiai Közöny*, 100(2). pp. 37-47.

Schleiss, A.J., Franca, M.J., Juez, C., De Cesare, G. (2016). Reservoir sedimentation. *Journal of Hydraulic Research*, 54(6). pp. 595-614.

<https://doi.org/10.1080/00221686.2016.1225320>

Schumm, S.A. (1977). *The Fluvial System*. John Wiley & Sons, New York.

Thorne, P.D., Vincent, C.E., Hardcastle, P.J., Rehman, S., Pearson, N. (1991). Measuring suspended sediment concentrations using acoustic backscatter devices. *Marine Geology*, 98. pp. 7-16. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(91\)90031-X](https://doi.org/10.1016/0025-3227(91)90031-X)

Török G.T., Baranya S., Rütther, N. (2017). 3D CFD Modeling of Local Scouring, Bed Armoring and Sediment Deposition. *Water*, 9. pp. 56-72.

<https://doi.org/10.3390/w9010056>

Tritthart, M., Haimann, M., Habersack, H., Hauer, C. (2019). Spatio-temporal variability of suspended sediments in rivers and ecological implications of reservoir flushing operations. *River Research Applications*, 35. pp. 918-931.

<https://doi.org/10.1002/rra.3492>

Tu, L.X., Thanh, V.Q., Reynolds, J., Van, S.P., Anh, D.T., Dang, T.D., Roelvink, D. (2019). Sediment transport and morphodynamical modeling on the estuaries and coastal zone of the Vietnamese Mekong Delta. *Continental Shelf Research*, 186. pp. 64-76.

<https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.07.015>

van Rijn, L.C. (1984a). Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(10). pp. 1431-1456.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1984\)110:10\(1431\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:10(1431))

van Rijn, L.C. (1984b). Sediment Transport, Part II: Suspended Load Transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(10). pp. 1613-1641. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1984\)110:11\(1613\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:11(1613))

Xie, Q., Yang, J., Lundström, T.S. (2019). Field Studies and 3D Modelling of Morphodynamics in a Meandering River Reach Dominated by Tides and Suspended Load. *Fluids*, 4. pp. 15-33.

<https://doi.org/10.3390/fluids4010015>

Zhang, B., Wu, B., Ren, S., Zhang, R., Zhang, W., Ren, J., Chen, Y. (2021). Large-scale 3D numerical modelling of flood propagation and sediment transport and operational strategy in the Three Gorges Reservoir, China. *Journal of Hydro-environment Research*, 36. pp. 33-49. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2021.03.003>

Zhang, W., Jia, Q., Chen, X. (2014). Numerical Simulation of Flow and Suspended Sediment Transport in the Distributary Channel Networks. *Journal of Applied Mathematics*, 2014, 948731.

<https://doi.org/10.1155/2014/948731>

**A SZERZŐK**

**POMÁZI FLÓRA** építőmérnök, BSc oklevelét 2016-ban, majd Infrastruktúra-építőmérnök MSc diplomáját 2018-ban szerezte a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Jelenleg az egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének tudományos segédmunkatársa. Doktori kutatásának témája a folyami lebegtetett hordaléktranszport. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2013 óta tagja.



**BARANYA SÁNDOR** építőmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte 2003-ban, PhD fokozatát ugyanitt 2010-ben. Jelenleg a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének tanszékvezetője, egyetemi docense. Kutatási területe: folyók medermorfológiai, áramlási és hordaléktranszport vizsgálati vizsgálata terepi eljárásokkal és számítógépes modellezéssel. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2003 óta tagja.



*Hordaléklerakódás madártávlatból a Duna felső-magyarországi szakaszán  
(a drónfelvételt készítette: Baranya Sándor)*





A FÓRUM rovat keretében teret adunk a VÍZÜGYI Igazgatóságok munkatársainak új szakmai ismeretek bemutatására.

## Vízépítési tevékenység hatása a természetes vizek halállományára

Zsoldos Zoltán

Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság, 3530 Miskolc, Vörösmarty út 77. (e-mail: zsoldos.zoltan@emvizig.hu)

### Kivonat

A természetes vizek halállományának csökkenése régi keletű dolog. A vizes élőhelyeken a legfontosabb jelzőcsoport a hal, mert nagy mennyiségben és változatos fajösszetételben csak jó ökológiai állapotú vízben képesek élni, ami a többi élőlénycsoportnak is megfelelő élőhelyet kínál. A közlemény arra keresi a választ, hogy az elmúlt másfél évszázadban hogyan és miért csökkent természetes vizeink halállománya. A témakört 1980-2017 között a Halászat szaklap hasábjain megjelent közlemények elemzésével mutatjuk be. A közlemény második fele horgászati fogási eredmények elemzésével arra a kérdésre keresi a választ, hogy a vízépítési tevékenységek közül a duzzasztók hogyan befolyásolják a halállományt.

### Kulcsszavak

Természetes vizek halállománya, folyószabályozások, tározók, duzzasztók, vízlépcsők, limnofil fajok, reofil fajok.

## The effect of water construction activities on the fish population of natural waters

### Abstract

The decline of fish stocks in natural waters is an old history. The review of the technical literature is also timely because the Water Industry provides a habitat for aquatic and water-related organisms from a technical point of view. The article seeks the answer to how and why the fish population of our natural waters has decreased in the past century and a half. The topic can be presented by analysing the articles published in the columns of the Halászat magazine between 1980-2017. The second part of the article looks investigate the dams affect the fish stock among the water construction activities by analysing the results of fishing catches.

### Keywords

Fish population of natural waters, river controls, reservoirs, dams, barrages, limnophilic species, rheophilic species.

### A HALÁLLOMÁNY VÁLTOZÁSA

P. Károlyi Zsigmond, aki a magyar halászat történetével is foglalkozott, kiemeli, hogy Oláh Miklós 1536-ban, később Edward Brown 1669-ben említést tesz az ország halbőségéről (P. Károlyi 1982).

Mind a Tiszán, mind a Dunán győri, komáromi halkezeskedők irányították az őszi nagy lehalászásokat és a viza halászatát is, majd halbárokban vontatták a zsákmányt Komárom, Pozsony és Bécs városokba. A híradásból kitetszik, hogy nem az anyamederben, hanem az elrekesztett fokokban és a természetes tavakban, a tóságokban halásztak (Herman 1887).

Répássy (1929) „A magyar vízmunkálatok története 1856-1927” című könyv Halászat fejezetében a következőket írja: „Az 1880-as években a Tisza megrendszabályozása befejezetéig, ettől kezdve csak folyton-folyvást hanyatló halászatról beszélhetünk. Ugyanez volt a szabályozások eredménye más vizeknél is...” A lehető legszelesebb körben vissza kell állítani az élettér eredeti állapotát, de legalább elfogadható körülményeket kell biztosítani az őshonos halállomány számára, mégpedig elsősorban műszaki beavatkozásokkal (Gönczy 1980). Felvidéki (1982) szerint „Vitatathatlan a természetes ivás hasznossága, meghatározó a természetes vizekben lévő ivarérett halak

mennyisége. A legtöbb halfajnál a lerakott és megtermékenyült ikra számának csak 0,01%-a éri el később a „felnőtt” kort. Három évtizedes tapasztalatom szerint, a magyar Duna-szakaszon 0,05%-ot tartok valósnak.”

Harka (2008) az emberi beavatkozások következtében, a tiszai halfauna másfél évszázados hanyatlásának okait a következőkben foglalja össze:

- árvízmentesítés, folyószabályozás,
- vízlépcsők és víztározók építése,
- idegen halfajok megjelenése,
- vízszennyezés,
- a víz hőmérsékletének emelkedése.

### Árvízmentesítés, folyószabályozás

A haltermelés legfőbb előmozdítója a zöldár, mely általában az ivási időben érkezik. Az áradás megnöveli a termelési területet, felfrissíti a vizet, savtalanítja a tavak és az ártér talaját, oxigént hoz és fokozza a talaj termőerejét azáltal, hogy finom iszappal megtrágyazza, megakadályozza a káros gyomnövények szaporodását, víz alá juttatja az árterület magasabban fekvő részeit, így kiváló ivóhelyeket biztosít. Az ártér részeit a funkcióival együtt újra működésbe kell hoznunk a sikeres ivások, az erős halállomány érdekében (Solymos 1985). Amennyiben a tározók vízállását

műszaki elvek alapján határozzák meg, akkor sem az ívás, sem az ivadék életben maradása nem lehet sikeres.

Az ívás sikerességéhez az kell, hogy márciusban, április elején áradó víz legyen az ívársra kiszemelt füves területen. A pontyok április 20-ától május végéig fognak ívni, ekkora kell elfoglalniuk az elárasztott területet. Azt meg lehet tenni, hogy az ívársra kiszemelt területen a lassú, időszakos árasztásokkal a víz magasságát, és az elöntött terület nagyságát növelve folyamatosan növeljük az életteret újabb és újabb táplálékkészleteket biztosítva a halnak. Azonban a víz szintjét nem hagyhatjuk csökkenni az ívási időszakban. Az egynyaras ivadékot aztán október 8. után engedhetjük a folyóba az ívársra használt tározó leengedésével. Ha a folyó és a tározó szerves egységet képez, mint a Tiszalöki vagy dombvidéki tározóink, akkor is a tározó vízszintjével ezt a szezonális játékot kell folytatnunk.

Sajnos az árvizek gyors levonulása miatt a Bodrogzug, mint halbölcső megszűnt létezni. A Bodrog meredek partja és erős iszapossága miatt igen kevés ívóhely található a folyó egész szakaszán. Az áradáskor elöntött rétek viszont nagyon jó ívóhelyek voltak. A nagyon gyors vízelvezetés miatt sokszor ikrák vagy hallárvaik maradnak szárazon. Ha viszont a réteken felszaporodó planktonállományon megerősödött ivadékot a belvizek lassú leeresztésével úsztatnák le a csatornába, akkor ismét halbölcső lehetne a Bodrogzugban és a Bodrogban. A vízügyet, mint partnert kellene megnyerni, hogy két-három héttel tovább maradjon a víz a réteken, és azt lassan engedjék le. Rehabilitáció során elsősorban a holtágakat kellene egy zsilippel ellátott csatornával ismét összeköttetésbe hozni az anyamederrel, így megoldható lenne a vízcseré, amely növelné a haleltartó képességet, a fajgazdagságot (Hoitsy 1995).

### Vízlépcsők és víztározók építése

#### *Vélemény a tiszalöki és kiskörei hallépcsőkről*

A Tiszán található tiszalöki és kiskörei duzzasztóművekhez kapcsolódó hallépcsők alapvető funkciója a halak vándorlásának lehetővé tétele lenne. A tiszalöki duzzasztó mellett megépített vízlépcső annak elavultsága és rossz műszaki megoldása miatt olyan alacsony hatékonysággal tesz eleget a várakozásoknak, hogy azt jelenleg nem is üzemeltetik. A kiskörei duzzasztás mellett kialakított hallépcső elsősorban a folyóban élő pontyfélék vándorlását hivatott biztosítani. A hallépcső alapvető problémája, hogy a kisebb halak és gyengébb halfajok többsége felfelé nem képes leküzdeni a hallépcsőben áramló vizet, azok lefelé főképpen a lesodródás következtében haladnak át a hallépcsőn (Józsa 2022).

#### *Tisza és Tisza-tó*

A Tisza-tó esetében a halfaunát illetően megfigyelték a reofil fajokat; pl. a márna és a kecsge. A limnofil fajok (állóvizet kedvelők) állománya ellenben nőtt. Gyorsan elszaporodott a bodorka, ezüstkárász és a csuka, amelyek pironír fajok. Növekedett a ponty, dévérkeszeg és a süllő állománya is. A pontyfélék lettek a tározó nyertesek, mert az elöntéseken jól szaporodnak (Harka 1985).

Itt egy nagyon érdekes gondolat, amit érdemes körüljárni. Harka (2008) említi a tározótér eliszapolódásának negatív következményeit. A vízügyi szakma is tisztában van azzal, hogy a folyószabályozási létesítmények mögött

feliszapolódik a meder és az árterek is feltöltődnek. Azonban a tározókra jellemző az is, hogy, ha túl kevés ideig marad szárazon a meder, akkor a fű néhány év alatt kipusztul. Márpedig a pontyféléknek pont az ilyen füves elöntések szükségesek a szaporodáshoz. A folyószabályozások előtt a meanderező Tisza és más vízfolyások esetében ez azért nem volt gond, mert mindig volt olyan friss terület, ahol rétet öntött el a víz. Egy tározó vízszintjét hiába változtatjuk, előbb-utóbb mindenhol kipusztul a fű. Ezt meg lehet oldani azzal a halastavi módszerrel, hogy a szárazon tartott területet ősszel bevetik búzával. Vagy tavasszal tárcsázzák, és úgy vetik be árpával. Mindent meg kell tenni a fenék szellőztetése és befűvesítése érdekében, hogy legyen megfelelő szubsztrát az íváshoz.

### *A Balaton és a Kis-Balaton esete*

Woyhárovich (1989) megjegyzi, hogy az 1950-es évekig a fogás 80%-a keszeg és garda volt, a nemeshal pedig főképp süllő, ponty, őn és harcsa. Az 50-es években kezdődő, de a 70-es, 80-as években robbanásszerű eutrofizáció következtében a keszeg állomány életfeltételei javultak, azonban a süllőállomány csökkent. Igaz, ebben nagy szerepe volt az 1965-ös és az 1975-ös két növényvédőszeres mérgezésnek is. Angolnát 1961-91 között telepítettek a Balatonba, a busatelepítések 1972-ben kezdődtek (Bíró 1993).

Az 1980-as évek elején a tó halállományát 5-8 ezer tonnára becsülték és évente átlagosan 1 400-1 500 tonna halat fogtak ki belőle. Ezt úgy tudták fenntartani, hogy 200 tonna éves telepítéssel pótolták ki a természetes szaporodást (Giczi 1988).

1994-ben már a Balaton esetében is érezhető volt, hogy a tó tápanyag-utánpótlása és szennyezettsége mérséklődött (Bíró és B. Muskó 1994). Kirjásniemi és társai (1997) megállapították, hogy a fogásokban a ragadozó halak aránya csökkent. A múlt század első évtizedeiben a békés és ragadozó halak aránya 70:30% volt, addig ez 1994-ben 87:13%, míg 1995-ben 89:11%.

A Balaton vízminőség problémáinak vizsgálatakor felmerült a tó vízének kicserélődési folyamata. Eredetileg ez átlagosan 15 év volt, a Keszthelyi öbölben pedig egy év. Az 1990-es években a teljes tó vízének kicserélődése 25 évre nőtt, a Keszthelyi öböl pedig 3-4 évre. Gönczy (1981/a) szerint ez is közre játszott abban, hogy lassan fő fajtá küzdött fel magát az ezüstkárász (Dobrai 1994).

A dévér éves termelésének és állományméretének csökkenése is összefüggésbe hozható a tó javuló vízminőségével. Ugyanis az eutrofizáció csökkenése nem tett jót a dévér állomálynak (Specziár és Tölg 2000).

### **Idegenhonos fajok megjelenése**

1984-ben arról számolt be a Halászat szaklap, hogy a Vízügyi Szabványosítási Központ (VSZK) elkészítette és kiadta a „Földművek fenntartása, vízínövények irtása növényevő halakkal” című MI-10 292/3. számú műszaki irányelveket (Fóris 1984). A Tisza-tavi növényevők kérdése mindig is foglalkoztatta a szakértőket, mivel a tó kaszálásának anyagi és gépi feltételeit nehéz előteremteni. A tó hatalmas hínár és nádmezei viszont tökéletes táplálékot jelentenek az amurnak (Kovács 1990). Az invazív fajok

közül kétségtelenül az ezüstkárász jelentősége a legnagyobb. Az ezüstkárász mellett a törpeharcsa a másik nagy versenyző (Harka 1997). Az ezüstkárász, törpeharcsa és fehér busa tiszai előfordulását vizsgálva 2010-ben azt találták, hogy az invazív fajok aránya az őshonos fajokhoz képest 60:40. Az ezüstkárász hímek hazánkban az állomány 44-78%-át teszik ki, vagyis ma már mindenhol képes ivaroson is szaporodni (Józsa és Kozłowski 2010).

Az angolna exportlehetősége olyannyira meghatározó eleme volt a magyar haltenyésztésnek, hogy jelentőségénél fogva mindaddig telepítették, amíg az 1991-es nagy angolnapusztulás be nem következett a Balatonban. Ezért 1992-ben betiltották a balatoni angolnatelepítéseket (Woyvárovich 1992).

### Szennyezések, halpusztulások

A vízszennyezések és a halpusztulások gyakori okozója a magas szervesanyagtartalmú szennyvíz, a sertésleplei hígrágya, a vegyipari szennyvizek, az ipari és kommunális szennyvizek, a permetlé bemosódás, az ammóniás víz, a termásvíz szekunder vízének holtágba engedése (fenol), a vágóhídi rothadó szennyvíz, valamint a kedvezőtlen hidrometeorológiai helyzet.

1998. május 26-án 2400 liter CHINMIX S EC ömlött a Dunába a Chinoin nagytétényi telephelyéről. A készítmény hatóanyaga a cipermetrin szintetikus piretroid rovarölőszert. Halakra kifejezetten veszélyes, felszíni vizektől csak 200 méterre lehet használni (Pénzes és Repkényi 1998).

2000. január 30-án a romániai Nagybánya melletti ausztrál-román tulajdonban lévő AURUL bányavállalat szennyvíz- és zagyatároló távában a lehullott csapadék miatt a szennyvíz előbb meghágtá a gátat, majd 22 méter széles gátszakadást okozott. 2000. február 2-án a szennyezőanyag (Na-cianid) 32,6 mg/l koncentrációval elérte a Szamos magyarországi szakaszát, Szegedet pedig február 11-én 1,49 mg/l koncentrációval. Mintegy 100 tonna cianvegyület haladt át az országon, elpusztítva mintegy 1241 tonna halat, melyek 23 faj képviselői voltak (Pénzes 2000).

### Globális felmelegedés

Harka (2003) közleménye rámutat, hogy vízfolyások ugyan lokális hőszennyezést kaphatnak a víztározókban, a hőerőművek hűtővize, vagy a szennyvízterhelések miatt, azonban ezektől függetlenül is a globális felmelegedés következtében várható a vizek hőmérsékletének emelkedése. Ez alapján pedig újabb halfajok megjelenését várhatjuk.

### HALÁSZ-HORGÁSZ SZEMMEL

Hazánkban mintegy 140 ezer hektár természetes vízen és víztározón folyik halgazdálkodás (Pintér 1996). Érdekes megismernünk az elmúlt évtizedek üzemi és kisseres számú halászaikat, valamint a horgászok tapasztalati kincsével. Ez a tapasztalat többnyire a halakra vonatkozik, ám a hal ökológiai szempontból olyan kulcspozícióban van, hogy ha neki jó, akkor az a vizes élőhely minden elemének jó. Ha viszont a többi elemet tönkre tesszük, akkor a halak is megfogyatkoznak a vizeinkben.

Tahy (1985) a haltelepítésekkel kapcsolatosan a javaslatát a következőképpen foglalja össze:

- Ahol sok a gyomhal, ott a telepítés 5%-ig ragadozót is tervezhetünk.
- A ponty népesítése alig van hatással a nagy folyók főágának halállományára. Pontyot inkább a mellékágakban vagy a folyó más szakaszain lehet fogni. Népesítése csak horgászérdeket szolgál.
- Süllőfészkek és lárvá telepítése teljesen hasztalan. Az előnevelt vagy idősebb süllő telepítése viszont ajánlatos. Csuka esetében még az előnevelt csuka kihelyezése is csak megfelelő vízállás mellett ajánlható, mert rossz tavaszi vízállások rossz táplálkozási viszonyokat eredményeznek, és akkor a csuka sem marad meg.
- Előnevelt és egynyaras harcsa telepítése csak ott engedhető meg, ahol a visszafogása is lehetséges.
- Ellenben a balin telepítésével kapcsolatban igen kedvezőek a tapasztalatok. Keve (2022) szerint a Duna alsó részén telepítés nélkül is ebből van a legtöbb.
- Keszegfélék közül egyedül a márna telepítését javasolja, mert annak tönkrementek az ívóhelyei. A mai vízfolyásokra jellemző, hogy a műszaki beavatkozások következtében nemcsak az élettér darabolódott fel, hanem a kavicsos-sóderes részekre iszap rakódik, így a márna nem talál megfelelő ívóhelyet, mert neki tiszta sóderes aljzat kell.
- A kecsege telepítését szorgalmazza, mert a fogások növekedése a kihelyezés arányában megfigyelhető.
- Amur, fehér- és pettyes busa telepítését is javasolja a kornak megfelelően (Tahy 1980/a, 1980/b).
- Zsenge, előnevelt és egynyaras ivadék (ponty) horgászat nélküli, haltermelési célú halastóba való.

Gönczy (1981/a, 1981/b) rámutat, hogy a telepítések nincsenek korrelációban az éves fogási eredményekkel, tehát a természetes szaporulatra szükség van. Ezért az ívóállományt növelnünk kell. Az ívás és ivadékfejlődés sikeréhez a hullámtéri helyzetet kell alkalmatossá tenni. Itt meghatározó a vízállás magassága és tartóssága, a vízhőmérséklet, valamint az áramlási- és mederviszonyok. Gönczy (1981/a, 1981/b) az élettér rehabilitációjában látja a megoldást. A kedvező adottságú holtágak kapcsolatát biztosítani kell a főággal, elő kell segíteni az ivadék anyamederbe való jutását (persze csak ősszel, amikor már elég erősek a vízfolyásban való vándorláshoz).

Woyvárovich (1991) amellel érvel, hogy minél nagyobb egy vízterület, azt annál kevésbé lehet kizárólag horgászhasznosítással kezelni. Szükség van a halak szaporodásának védelmére, fajra való tekintet nélkül, helyes ragadozó-békés hal arányt kell kialakítani, szükség van selektív halászatra. Ehhez a horgásztársadalomnak se gyakorlott embere, se eszköze nincs. Felhívja a figyelmet arra, hogy a Tisza-tó az 1990-es évekre benövényesedett, hínár, nád, gyékény telepedett meg benne, jelentősen csökkentve a vízterületet és a csukán kívül más faj szaporodására egyre kevésbé alkalmas. Pedig eleinte szépen szaporodott benne a ponty.

A Tisza-tóban az első években azért sikerültek jól az ívasok, mert a duzzasztás megkezdése előtt a mederterülete eredetileg rét volt, és jó néhány évbe került, hogy a fü

kipusztuljon, és csak az iszap maradjon. Ilyenkor a leeresztett tározó iszapos medrébe mesterségesen lehet búzát vetni, azért, hogy az ívási szubsztrátot biztosítsa.

Horgászterdekekre tekintettel ma sok tározót le sem engednek. Másképp kellene emiatt ívási szubsztrátot biztosítani, ami akár fészkek kihelyezésével is megoldható.

A márna reofil, áramlást kedvelő hal, szaporodása a kavicsos-sóderes mederhez kötött. Mára sok helyen a meder eliszaposodott az áramlási viszonyok megváltozása miatt és így bár meg tud élni az iszapos helyeken, de szaporodása kevésbé sikeres. Emiatt nemcsak a Tiszán, de a Dúnán és a Dráván is csökken a fogása (*Szitó és Györe 1995*).

### Javaslatokat előtáró cikkek

A neves vízügy-történész, *P. Károlyi Zsigmond* két fontos szempontra világít rá a természetes vizekkel foglalkozó tanulmányok esetében (*P. Károlyi 1982*):

1. Az ártéri holtágak átalakítása természetes halbőlcsökké, gyakorlatilag azok eredeti rendeltetésének visszaállítását jelenti.

2. Halhústermelésünk példát adhat a mezőgazdaságnak, de a természetvédelemnek is.

A holtágak fenntartása műszaki feladat, a feliszapolódott holtágakat ismét rendszeresen vízzel feltölthető és lecsapolható halasokká kell alakítani. Ez a foki gazdálkodás bizonyos elemeinek tovább élését is jelenti.

### A TISZALÖKI DUZZASZTÓ HALFAUNÁRA MÉRT HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA A HORGÁSZFOGÁSI ADATOK ELEMZÉSÉVEL

A Nemzeti Élelmiszerbiztonsági Hivatal horgászati fogási adatait (*Zsigmond 2021*) a 2010-2018 közötti időszakra éves, illetve területi bontásban dolgoztuk fel a Tisza 477-540,5 fkm közötti szakaszára (*1. ábra*). A Sporthorgász Egyesületek Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Szövetségének (továbbiakban: Szabolcsi SHE) a kezelésében van a 494-540,5 fkm közötti szakasza, melyet a tiszalöki erőmű érint. Ennek a vízterületnek a fogási adatait vettem össze az alatta található Zabos Géza Sporthorgász Egyesület (továbbiakban: Zabos HE) (477-494 fkm) adataival.

Mint ahogy azt a *1. táblázat* mutatja, a 2010-2018 időszakban a Szabolcsi SHE fajlagos fogási eredményei jelentősen jobbák, mint a Zabos HE eredményei.



1. ábra. A Tiszalöki duzzasztó és a vizsgált helyszínek  
Jelölés: Piros: a Zabos HE területe; Sárga: a Szabolcsi SHE szakasz területe

Figure 1. The Tiszalök Dam and the investigated sites  
Legend: Red: The area of Zabos Sport Fishing Association, Yellow: The area at Szabolcs County Fishing Association

1. táblázat. Fogási adatok 2010-2018 között (NÉHIB halfogási statisztika)  
Table 1. Catch data during 2010-2018 (NÉHIB fish catching statistics)

Sporthorgász Egyesület	Szabolcsi SHE Terület: 655 ha		Zabos HE Terület: 255 ha		A Zabos HE fajlagos fogása a Szabolcsi SHE szakaszához viszonyítva
	Fogás kg	Fajlagos fogás kg/ha	Fogás kg	Fajlagos fogás kg/ha	
Ponty	2 953	4,5083	768	3,0117	66,8
Márna	276	0,4213	36	0,1411	33,5
Harcsa	2 857	4,3618	593	2,3254	53,3
Csuka	611	0,9328	141	0,5529	59,3
Amur	887	1,3541	119	0,4666	34,5
Balin	789	1,2045	120	0,4705	39,0
Kősüllő	374	0,5709	50	0,1960	34,3
Süllő	1 500	2,2900	384	1,5058	65,8
Összesen	10 247	15,6442	2 211	8,6705	55,4

Mint ahogy az *1. ábrán* látszik, a tiszalöki duzzasztó a szabolcsi szakasz közepén helyezkedik el. Semmi sem indokolja, hogy duzzasztó alatt a kimélyülő szakaszban, amely rosszabb élőhely, mint a felette lévő bögé, több hal legyen, mint a pirossal jelzett Zabos HE területén. Vagyis a többlet eredmény kizárólag a duzzasztó feletti bögében

jelentkezik. Ha feltételezzük, hogy a kifogott haltömeg arányos a víztestben lévő halakéval, akkor az *1. táblázatban* bemutatott adatok alapján azt kapjuk, hogy az egy hektárra vetített haltömeg a Szabolcsi SHE területén kétszer akkora, mint a Zabos HE térségében, ami azt jelenti, hogy a duzzasztó felett valójában még jelentősebb haltömeg található.

### Eredmények és értékelésük

Azt kellene tapasztalni, hogy egy folyón lefelé haladva egyre több hal van. Szinttájaknak megfelelően egy-egy halfaj megritkul, mások felszaporodnak. Itt azonban azt látni, hogy a felvízi bögében minden fontosabb halfajból több van. A bögében magasabb a vízállás és mind térfogat szempontjából, mind pedig a vízfelület borítottsága alapján is nagyobb az élőhely. A tározó jellegből adódóan tavi jellegűvé válik az élettér. Ez láthatóan a reofil márnát sem zavarja.

A duzzasztók alatt a folyók viszont kimélyülnek, a víz sebessége növekszik. Ennek a reofil fajoknak, pl. a márnának kellene kedveznie. A fogási eredmények alapján viszont Tiszalök alatt 33,5%-át fogják a duzzasztó feletti szakasz fogási eredményének.

Ez mindenképpen zavarba ejtő, hiszen a kiskörei duzzasztó alatti szakaszra vonatkozóan is vannak olyan megfigyelések és kutatóhalászati fogási eredmények, hogy az áramlásokkedvelő halak beállnak jelentős mennyiségben a duzzasztó alvízére. Azonban ebben az esetben ez nem mérvadó. Főleg nyáron, de a többi évszakban is, alacsony oxigénkoncentráció esetén a halak valóban tömegesen állnak be a csobogó víz alá, legyen az egy zsilip egy halastavon vagy egy vízesés egy patakon, akár a duzzasztók alvíze. Tiszalökön is látni ilyet. Csakhogy az ilyen hal jellemzően nem táplálkozik, a friss víz miatt áll ide. A fogási eredményekben azért nem tükröződik ez, mert a halat nem itt lehet megfogni horgászmodszerekkel. Annál is inkább, hiszen a Tiszalöki duzzasztó alatt 500 méteren belül nem is lehet horgászni. A helyzet az, hogy a horgászati eredmények, kishalász eredmények, kutatóhalász eredmények mindig is bizonyos mértékű eltérést fognak mutatni. Más eszközökkel, más módszerrel, más fajú, korú, méretű halat fognak. A halkutatók ivadékot, illetve az apró termetű, védett halakat fognak olyan haltartó helyeken, ahol a fogható méretű horgászható halakat jellemzően nem találjuk meg. Ez is felhívja a figyelmet arra, hogy a fogási eredmények részletesebb feldolgozást igényelnek, azért, hogy olyan formába hozhassuk őket, hogy a halkutatók további kutatási munkára átvehessék azokat.

Láthatjuk (*1. táblázat*), hogy pontyból, csukából, balinból a Zabos HE fajlagosan minegy a kétharmadát tudja fogni a Szabolcsi SHE fogásának. Míg a többi halból, egy hektárra vetítve feleannyi van a duzzasztó alatt, mint fent. A kősüllő azonban kivétel – 34,3 %-ot mutat –, vagyis mintegy háromszor annyi kősüllő van a bögében, mint

alatta. Ez nagyon fontos adat, ugyanis a kősüllő jobban bírja az iszapos aljzatot, mint a süllő, aminek inkább a homokos, sóderes meder kedvező. Vagyis a kősüllő példáján láthatjuk, hogy a szabolcsi szakasz jobb eredményei igenis a duzzasztó felett jelennek meg, és nem a teljes szabolcsi szakaszon.

Ki kell emelni azt is, hogy a halfajok kérdése csak egy szempont egy duzzasztó építése során. A Dunán meglévő duzzasztók esetében azt tapasztalták, hogy az áramlásokkedvelő halfajok, így a kecsge és a bucók vagy följebb vonultak vagy egyedszámuk a felvízen lecsökkent. Az alvízen ellenben felszaporodtak ott, ahol a kormorán nem tett bennük nagy kárt. A védett halak zöme ugyanis hengeres testű, és a kormoránok kedvenc zsákmányállatai közé tartoznak. Vagyis, ha kevés védett halat fogunk, de annál több kormoránt látunk, akkor ez az oka a védett halak megritkulásának. Ellenben az állóvizet kedvelő védett halak, így a szivárványos ökle kedveli a duzzasztást. Ez azt jelenti, hogy a duzzasztók tervezésekor figyelembe kell venni azt is, hogy a duzzasztók felvízi hatása milyen hosszú folyószakaszokat érint, illetve az alvízen és a duzzasztás felvízi hatásával érintett bögé fölött maradjon elegendő hosszúságú duzzasztó hatástól mentes folyószakasz, ahol a reofil fajok megfelelő kiterjedésű élőhelyeket találnak.

### KÖVETKEZTETÉSEK

Az eredmények alapján azt mondhatjuk, hogy nem kell féltenuünk a Tisza Szabolcsi SHE (szabolcsi) szakaszának halállományát pusztán amiatt, hogy Tiszalök lezárja az utat felfelé. Persze el lehet azon gondolkodni, hogy vajon a duzzasztómű egyben két különálló populációt választ-e el egymástól?

Egyben arra is felhívja az eredmény a figyelmet, hogy a vízlépcsők, duzzasztók, vízi erőművek nem feltétlenül károsítják a halállományt. Annak károsodása sok tényezőtől múlik, és úgy látszik, hogy a vízilétesítmények nem teszik tönkre a felettük lévő élővilágot.

Tekintettel arra, hogy a tiszalöki hallépcső mind a kutatók, mind a kezelő szerint egyértelműen működésképtelen, ezért mindenképp javasolható egy korszerű hallépcső tervezése és kivitelezése.

### JAVASLATOK

1. Ne féljünk duzzasztók építésétől, mert felvízen az élőhely méreteinek növelésével, a víz sodrának csökkentésével jobb fogási eredményeket és a biomassza növekedését érjük el.
2. Szükséges egy új hallépcső tervezése Tiszalökre.
3. A Szabolcsi SHE. esetében célszerű lenne több víztérkóddal megosztani a területet, a tiszalöki erőmű feletti és alatti szakaszra és a duzzasztás hatástávolsága szerint is felosztani a felső szakaszt.

### ÖSSZEFOGLALÁS

Vízfolyásaink nagy része szabályozott vagy akár töltésezett is, melyben meg kell élnie az ökológiai rendszereknek. Ezért hatalmas a felelősségünk a vizes élőhelyek és a halállomány megőrzése területén. E kérdésben legfontosabb jelzőcsoport a hal, mert nagy mennyiségben és változatos fajösszetételben csak jó ökológiai állapotú

vízben képesek élni, ami a többi élőlénycsoportnak is megfelelő élőhelyet kínál.

A téma megválasztásának fő szempontja az volt, hogy a vízügyi szakma biztosít műszaki oldalról élőhelyet a vízi és vízhez kötött flórának és faunának. A legtöbbet így tehetünk a vízi ökológiai rendszer működéséért.

A közlemény első része a természetes vizek halállományának csökkenését vizsgálta a szakirodalom alapján. Célja, hogy megalapozzon olyan munkákat, amelyek az élővilág ökológiai hasznát képesek mérni, és beilleszthető a vízfolyások ökológiai hasznát mérő index (RESI) számításába.

Az állománycsökkenés legfőbb oka az élőhelyek megsemmisítése, ami a folyószabályozások következménye is lehet. Mára elértünk egy olyan állapotot, ahol mesterségesen vagyunk képesek élőhelyet létesíteni a vízi élőlényeknek. Legyen az akár a Tisza-tó, hegyvidéki tározó, medertározó, mesterséges nádasok, mindenhol birtokba vesznek a halak az élőhelyet kínáló vízi létesítményeket.

A közlemény második része a tiszalöki duzzasztó halfaunára mért hatásának vizsgálata a horgász-fogási adatok elemzésével.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm fejezem ki a Nemzeti Élelmiszerbiztonsági Hivatal igazgatójának Zsigmond Richárdnak a fogási adatokért, Feszatory Sándornak a Sporthorgászegyesületek Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Szövetsége ügyvezető igazgatójának, Márton Károlynak a Zabos Géza Horgászegyesület halászati örének és Józsa Vilmosnak a Halászati Kutatóintézet tudományos főmunkatársának a szakmai útmutatásért, Palencsár Istvánnak a Tiszalöki Duzzasztómű szolgálatvezetőjének a gyakorlati segítségéért, Lőrincz Mihálynak az informatikai segítségnyújtásért, konzulenseimnek; Keve Gábor tanszékvezetőnek és Fejér László Jenő címzetes egyetemi docensnek, valamint az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság vezetőségének tanulmányaim támogatásáért.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Bíró P. (1993). A Balaton halállományának változásai és jelenlegi helyzete. *Halászat* 1993/1. pp. 22-24.
- Bíró P., B. Muskó I. (1994). A kűsz (*Alburnus alburnus* L.) populáció dinamikája és tápláléka a Balaton parti övben. *Halászat* 1994/2. pp. 86-92.
- Dobrai L. (1994). Dráva vizet a Balatonba *Halászat*. Somogyi hírlap alapján 1994/3. pp. 121.
- Felvidéki I. (1982). Egy természetes vizekkel foglalkozó tanulmány margójára- Hozzászólás Gönczy János cikkéhez. *Halászat* 1994/1. pp. 11-12.
- Fóris Gy. (1984). Az amur hasznosítása a mederfenntartási halasításban. *Halászat* 1984/4. pp. 99-101. doi:10.1016/0045-8732(84)90169-4
- Giczi F. (1988). A Balaton halgazdálkodása. *Halászat* 1988/5. pp. 131-133. doi:10.2307/3972212

Gönczy J. (1980). Folyóink halállományának pótlási lehetőségei. *Halászat* 1980/2. pp. 44-47.

Gönczy J. (1981/a). A természetes vizek halállománya. *Halászat* 1981/4. pp. 123.

Gönczy J. (1981/b). A természetes vizek halállománya. *Halászat* 1981/ 5. pp. 149-150.

Harka Á. (1985). A Kiskörei Víztározó halállománya. *Halászat* 1985/2. pp. 35-37.

Harka Á. (1997). Terjed vizeinkben a fekete törpeharcsa. *Halászat* 1997/3. pp. 109-110. doi:10.1515/dig.1997.1997.5.109

Harka Á. (2003). A globális felmelegedés hatása halfaunánkra. *Halászat* 2003/2. pp. 58-60.

Harka Á. (2008). A tiszai halfauna változásai az utóbbi másfél évszázadban. *Halászat* 101/1. szám. pp. 28-39.

Herman o. (1887). A magyar halászat könyve. K. M. Természettudományi Társulat. p. 520.

Hoitsy Gy. (1995). A Bodrog és a Bodrogszeg hal-öko-faunisztikai fölmérése. *Halászat* 1995/3. pp. 100-104.

Józsa V. (2022). szóbeli közlés.

Józsa V., Kozłowski J. (2010). Egyes invazív halfajok (fehér busa-Hypophthalmichthys molitrix, pettyes busa-Aristichthys nobilis, ezüstkárász- Carassius auratus gibelio) hatása a különböző vizes ökoszisztémák halfaunájára. *Halászat* 2010/1. pp. 32.

Keve G. (2022). szóbeli közlés

Kovács P. (1990). A Kiskörei-tározó halbiológiai vizsgálata. *Halászat* 1990/1. pp. 8-9.

Kirjasniemi M, Kirjasniemi J., Tátrai I., Józsa V. (1997). Halállományok szabályozása a Balatonban: ragadozó-préda kapcsolat a parti övben. *Halászat* 1997/2. 8 pp. 5-90.

Pénzes B. (2000). A tiszai halpusztulás krónikája. *Halászat* 2000/2. pp. 58-59.

Pénzes B., Repkényi Z. (1998). A dunai halpusztulás. *Halászat* 1998/2. pp. 54-55.

Pintér K. (1996). A magyar halászat 1995. évi statisztikája. *Halászat* 1996/2. pp. 51-53.

P. Károlyi Zs. (1982). A magyar halászat-tógazdálkodás történetéből IV-Halászatunk a török hódoltság korában. *Halászat* 1982/2. pp. 48-50.

Répassy M. (1929). A magyar vízmunkálatok története 1856-1927. Stádium Sajtóvállalat Rt. p. 204.

Solymos E. (1985). Árvíz és halgazdálkodás. *Halászat* 1985/6. pp. 179.

Specziár A., Tölg L. (2000). A Balaton dévérkeszeg állományának vizsgálata. *Halászat* 2000/3. pp. 135-144.

Szitó A., Györe K. (1995). A Tisza Tiszabecs-Vásárosnamény szakaszán élő márna (*Barbus barbus* L.) növekedése, mortalitása, táplálékának vizsgálata. *Halászat* 1995/3. pp. 132-136.

Tahy B. (1980/a). Új üzemtervek a természetes vizeken 1981-től. *Halászat* 1980/3. pp. 68.

Tahy B. (1980/b). Milyen hal kihelyezését írjuk elő az új üzemtervekben. *Halászat* 1980/5. pp. 129.

Tahy B. (1985). Milyen nagyságú ponttyal népesítsük a horgászvizeket? *Halászat* 1985/6. pp. 175.

Woynárovich E. (1989). A balatoni halász-horgász vi-  
tához. Halászat 1989/4. pp. 97-99.

Woynárovich E. (1991). A halász-horgász viszony ki-  
látásai. Halászat 1991/1. pp. 21-22.

Woynárovich E. (1992.) És azután? Halászat 1992/3.  
pp. 110-111.

Zsigmond R. (2021). Halfogási adatok 2010-2008.  
Adatszolgáltatás.

#### A SZERZŐ



**ZSOLDOS ZOLTÁN** ár- és belvízvédelmi szakmérnök (Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2022.), vegyész-  
mérnök Bsc. (Debreceni Egyetem, 2017.), általános agrármérnök (Szent István Egyetem halgazdálkodás szak-  
irány, 2000.). Munkahelye az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság, ahol 2020. márciusától dolgozik te-  
rületi felügyelőként. Mindig is vonzotta a természetes vizek élővilága, ilyen indítatásból szerzett halgazdálko-  
dás szakirányú agrármérnöki diplomát. A vízügynél célja, hogy a folyószabályozási- és árvízvédelmi célokat  
összeegyeztesse az élővilág igényeinek kielégítésével, a vízvisszatartás ökológiai szolgáltatásának növelése ér-  
dekében.



Tiszalöki Vízlépcső (Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság)

# Esemény



A Hidrológiai Közöny Fórum rovatában – szerkesztőségünk felkérése alapján – a vízügyi igazgatóságok szakembereinek tollából készült tanulmányokat közlünk, amelyekben megismerkedhetnek az igazgatóságok működési területére jellemző vízgazdálkodási kérdésekkel. Alábbiakban Laczi Zoltán és Barabás Imre írása segítségével bemutatjuk az MHT XLI. Országos Vándorgyűlésének házigazdáját, a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóságot (KÖTIVIZIG).

## KÖTIVIZIG: ahol minden (víz) szál összefut

Laczi Zoltán<sup>1</sup>, Barabás Imre<sup>2</sup>

<sup>1</sup> KÖTIVIZIG PR referens (e-mail: laczi.zoltan@kotivizig.hu), <sup>2</sup> KÖTIVIZIG nyugdíjas

### Kivonat

A Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság lesz a házigazdája a Magyar Hidrológiai Társaság XLI. Országos Vándorgyűlésének. A 2024 júliusában tervezett nagyszabású, hagyományos esemény remek apropót szolgáltat arra, hogy idő- és térbeli utazásra invitáljuk Olvasóinkat az Alföld középső vidékére, az igazgatóság „portájára”, hogy bemutathassuk a múlt mérföldköveit és a jelen eredményeit.

### Kulcsszavak

Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, Országos Vándorgyűlés, Magyar Hidrológiai Társaság.

## KÖTIVIZIG: where all (water) threads run together

### Abstract

The Central Tisza Region Water Directorate will host the 41st Annual National Conference of the Hungarian Hydrological Society. The significant, traditional event planned for July 2024 provides a great opportunity to invite our readers on a journey through time and space to the central region of the Great Plain, the "portal" of the directorate, to present the milestones of the past and the results of the present.

### Keywords

Central Tisza Region Water Directorate, Annual National Conference, Hungarian Hydrological Society.

### A KEZDETEKTŐL A RENDSZERVÁLTÁSIG

Miután a Magyar Köztársaság Alkotmánya kimondta a vizek köztulajdonba vételét, 1948-ban határozat született a vízügyi feladatok állami ellátásáról, vagyis „a vízügyek államosításáról”. A vízügyi igazgatás átszervezéséről szóló 6060/1948. (VI. 2.) Korm. rendelet nyomán a központi irányítás megszervezésére először az Országos Vízgazdálkodási Hivatalt (OVH) állították fel. Majd a korábbi helyi igazgatási szervek (Folyammérnöki, Kultúrmérnöki Hivatalok és kirendeltségeik), valamint az államosított társulatok (Alcsi-Tenyő-Kengyeli Ármentesítő és Belvízszabályozó Társulat, Heves-Szolnok-Jászvidéki Tisza és Belvízszabályozó Társ., Keletcserhataljai Vízitársulat, Kécske-Kecskeméti Tiszai Ármentesítő Társ., Zagyva-Tarna Vízrendező Társ., Hosszúfoki Ármentesítő Társ., Mezőtúr-Mesterszállási Ármentesítő Társ., Cibakházi Ármentesítő Társ., Tiszaköröszugi Ármentesítő Társ.) összevonásával pedig úgynevezett „vízgazdálkodási körzeteket” alakítottak ki.

A rendelet értelmében a körzetek határait és székhelyeit a hivatal elnöke a földművelésügyi és közlekedésügyi miniszter előzetes hozzájárulásával állapította meg, figyelembe véve természetesen a célszerűségi és szakszerűségi szempontokat is. A körzetek feladatkörébe vízügyi közigazgatás, kultúrmérnöki, folyammérnöki, továbbá ár- és belvízvédelmi ügyek intézése tartozott, a legfontosabb azonban az a tény volt, hogy a körzetek átvették a korábbi törvényhatóságoktól a vízjogi engedélyezés jogkörét.

Az 1949. január 1-jén létrejött Szolnoki Vízgazdálkodási Körzet megszervezője és első vezetője Molnár Endre mérnök volt, aki az államosításig a Debreceni Kultúrmérnöki Hivatal főnöke, majd a II. világháború végén rövid ideig a debreceni ideiglenes kormány Földművelésügyi Minisztériumában a Vízrendezési Főosztályt is vezette. A szakmai feladatokon túl temérdek olyan munka is akadt, amit nem csak a sok kis elődből való összevonás (9 társulat és a Szolnoki Folyammérnöki Hivatal) bonyolultsága indokolt, hanem a háború utáni nehéz gazdasági helyzet is. Először is a körzet fő egységeinek, a Szolnoki és a Karcagi Ár-és Belvízvédelmi Kirendeltségnek, valamint a Szolnoki Folyammérnöki Kirendeltségnek irodaházat, a városba összevont sok új dolgozónak pedig lakást kellett találni, majd a napi munka végzéséhez szükséges eszközöket kellett beszerezni. Az általánosan jó közhangulatban megkezdődő munka azonban nem volt túl sokáig zavartalan. Nyilvánvalóvá vált, hogy a vízügyi feladatok állami ellátásának teljes átvállalása túlzott követelményeket támaszt a vízügyi igazgatással szemben.

A felmerült nehézségek az eddigitől eltérő irányba terelték a folyamatokat és az egységes vízügyi igazgatás feladásához vezettek: 1951. február 1-jén az 52/1951. (II. 18.) MT. rendelet alapján az Országos Vízgazdálkodási Hivatalt és a vízgazdálkodási körzeteket megszüntették, a szervezet tevékenységi körét pedig lényegében a korábbi gyakorlatnak megfelelően két minisztérium hatáskörébe utalták. Az új elképzelések értelmében területünkön ekkor két



hivatal alakult: a Szolnoki Árvízvédelmi és Folyamszabályozási Hivatal (ÁFH), valamint a Szolnoki Kultúrmérnöki és Belvízrendező Hivatal (KBH).

Hamarosan kiderült, hogy a vízügyi feladatok megoldását ez az átszervezés sem szolgálta kellőképpen, ezért szükségessé vált egy újabb ésszerűsítés. Az 1953. IX. 30-án megjelent 1060/1953. (IX. 30.) MT. határozat új alapokra helyezte az igazgatási rendszert, vagyis létrehozta az Országos Vízügyi Főigazgatóságot és részletezte annak hatáskörét: az ország vízkészletének feltárása, elosztása, vízgazdálkodási keretterv készítése, ár- és belvízvédelem, öntözésfejlesztés, vízi létesítmények tervezése, építtetése stb.

A minisztertanácsi határozat nyomán 1953 októberétől új első fokú helyi hatósági jogkörrel is rendelkező egységes vízügyi szervezet jött létre területünkön, amit – akárcsak többi társát – a székhelyéről nevezték el Szolnoki Vízügyi Igazgatóságnak, melyet Hódos János vezetett.

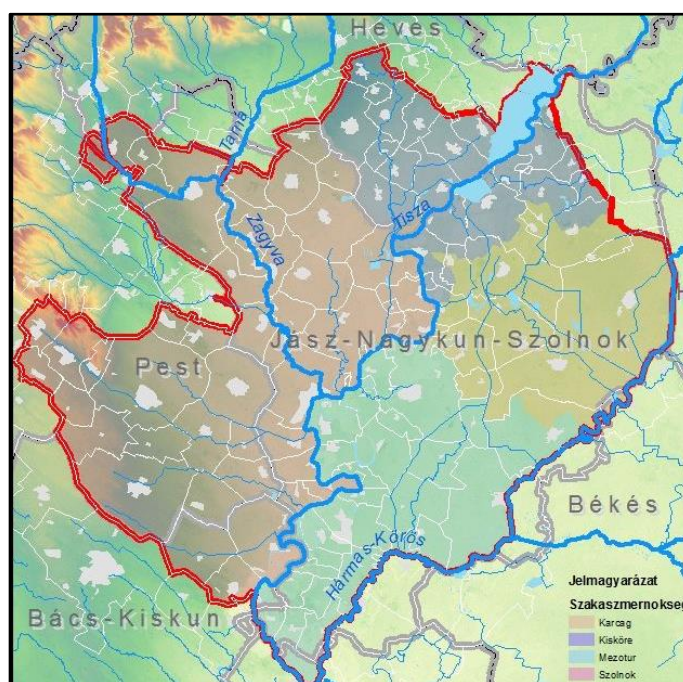
A vízgazdálkodás területi szemléletének erősödését jelezte, hogy 1959-ben igazgatóságunkat is működési területéről nevezték el Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóságnak.

A szervezet felépítése az 1960-as évek első felében keveset változott, a központban például 1963-ban a következő egységek voltak megtalálhatók: vízgazdálkodási osztály, vízrendezési és vízhasznosítási osztály, műszaki tervezési osztály, termelési osztály, igazgatási, jogi és munkaügyi osztály, tervgazdasági önálló csoport, főkönyvelőség, gépészet, valamint a „végeken” nyolc szakaszmérnökség (Szolnok, Jászkisér, Jászberény, Tiszaroff, Kunhegyes, Karcag, Kisújszállás és Cibakháza) és a gépüzem (Károlyi 1976).

A vízügyi államigazgatás szervezeti fejlődésének a legnagyobb lökést az 1964. évi IV. Törvény, az úgynevezett „vízügyi törvény”, illetve az ennek a végrehajtásáról szóló 32/1964 (XII. 13.) Korm. rendelet megjelenése adta. Ezen jogszabályok megjelenésének következménye volt a szakaszmérnökségek számának csökkentése és a főépítésvezetőségek (Szolnok, Mezőtúr, Karcag és Jászkisér) 1966-os megszervezése. A 70-es évek elején a különböző átalakításoknak köszönhetően az igazgatóságon az újonnan alakított négy főosztály mellett az osztályok száma 16-ra emelkedett. Ez a szervezeti forma 1976-ig működött, amikor is megszűntek a főosztályok és az osztályok közvetlenül az igazgató, vagy a helyettesei irányításával működtek tovább. 1982-ben ismét módosult az igazgatóság szervezete, csökkentették az osztályok, illetve az osztályokon belül a csoportok számát, majd 1983. január 1-jén megszüntették a Jászkiséri szakaszmérnökséget is, melynek feladatait a Szolnoki szakaszmérnökség és az 1973-ban létrehozott Kiskörei szakaszmérnökség vette át. Az OVH 1987. évi megszűnése és a helyette létrehozott Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Minisztérium megjelenésének köszönhetően 1988. június 1-jétől az igazgatóság neve Közép-Tisza vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság lett. Alig több mint két év elteltével az igazgatóság a 4/1990 (X. 24.) KHVM rendelet 15. § alapján újra a Közép-Tisza vidéki Vízügyi Igazgatóság nevet kapta (Csikos 2003, Fejér 2013).

#### A JELEN

A szolnoki székhelyű Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (KÖTIVIZIG) 7 180 km<sup>2</sup>-es működési területe a Tisza hazai szakaszának középső részén, szinte teljes egészében az Alföld síkvidékén helyezkedik el, magába foglalja Jász-Nagykun-Szolnok vármegye túlnyomó részét, Pest és Heves vármegyék déli közzeteit, valamint Bács-Kiskun vármegye észak-keleti szegletét (1. ábra).



1. ábra. A KÖTIVIZIG működési területe  
Figure 1. KÖTIVIZIG's filed of activity

Az igazgatóság tevékenysége így négy régiót, közvetlenül hét vármegyét, százket települést, valamint öt nemzeti parkot érint.

A síkvidéki jellegből eredően a vízgazdálkodási létesítmények (csatornák, töltések, zsilipek, stb.) fajlagos sűrűsége duplája az országosnak. Mint vízügyi szervezetnek, legfontosabb feladatunk az állami tulajdonú víz-

gazdálkodási létesítmények (árvízvédelmi fővédvonalak, árvízi tározók, belvízvédelmi főművek, szivattyútelepek, csatornák, stb.) üzemeltetése, fenntartása és fejlesztése, valamint azokon a védekezés, a vízkár-elhárítás. Szakmai feladataink közé tartozik szinte az összes, vízgazdálkodással kapcsolatos tevékenység ellátása, felügyelete, ide értve a mezőgazdasági vízszolgáltatást is (*Laczi és Nagy 2013*)

1. táblázat. Az igazgatóság számokban  
Table 1. Characteristics of Directorates

Működési terület	7 180 km <sup>2</sup>	Települések száma:	102
Elsőrendű árvízvédelmi fővédvonalak hossza	708,273 km	Mentesített árterület nagysága	3 852 km <sup>2</sup>
Állami tulajdonú belvízcsatornák hossza	3 486 km	Vízfolyások hossza	270,1 km (Tisza 186,2 km, Zagyva 83,9 km)
Tisza-tó	területe 127 km <sup>2</sup>	hasznos tározótérfogat:	136 millió m <sup>3</sup>
Öntözött területek nagysága (engedélyezett nettó terület)	főműves: 39 631 ha	főmű nélküli: 5 038,5 ha,	rendkívüli: 3 192 ha
Szivattyútelepek száma	117 db	összkapacitás	158 m <sup>3</sup> /s
Vízpótló rendszer hossza	1 111 km	ebből öntöző: 407 km	kettős működésű: 704 km
Árvízi tározók száma	5	befogadóképességük	468 millió m <sup>3</sup>
Allományi létszám	579 fő		
Szervezeti egységek: Vezetés - 7 központi osztály - 4 szakasztechnikus (Kisköre, Karcag, Mezőtúr, Szolnok) - Regionális Laboratórium - Műszaki Biztonsági Szolgálat			

Az igazgatóság működési területének 56%-a árvízzel veszélyeztetett, de a belvíz, települési vízkár-elhárítási és a vízhiánykár-enyhítéssel összefüggő események gyakorisága is jelentős. A térségben 1999. óta napjainkig négy al-

kalommal alakult ki olyan árhullám, amely a 2014-ig érvényes mértékadó árvízszintet meghaladta (1999, 2000, 2006, 2010. években). Szintén a kockázatok emelkedésének irányába hat, hogy az árhullámok tartóssága is nő.

2. táblázat. Legnagyobb tetőző vízállások a Tiszán Szolnoknál  
Table 2. Highest peak water levels at Szolnok (Tisza)

Év	1970	1999	2000	2006	2010
Vízállás (cm)	909	974	1041	1013	954

3. táblázat. Maximális belvízi elöntés területe a Közép-Tiszán  
Table 3. The area of maximum inland flooding at Central Tisza

Év	1963	2011	2000	1999	2006
Elöntés (ha)	74 416	73 300	70 100	66 150	61 350



1. kép. A Tiszaroffi tározó megnyitása, 2010. 06. 10. (Fotó: KÖTIVIZIG)  
Photo 1. Opening of the Tiszaroff reservoir, 10/06/2010 (Photo by KÖTIVIZIG)

A Tisza, a Hármas-Körös és a Hortobágy-Berettyó esetében hosszan tartó, a Zagyván pedig rövidebb és hevesebb árhullámokra kell számítani. Legnagyobb problémát azonban az árhullámok egyidejűsége, illetve az ár- és belvíz egybeesése okozza. Ezen kívül az is jellemző a térségre, hogy nem ritkán egyszerre van jelen az aszály és a víztöbblet, ezért a vízelvezetés és vízviszatarítás egyensúlyára kell törekednünk. A vízviszatarítás tehát nem újkeletű dolog, hanem bevett gyakorlat az igazgatóságnál, különösen a holtágakban és a csatornákon.

Az igazgatóság 708,273 km árvízvédelmi fővédvonalat felügyel, 4 234,1 km csatornahálózatot kezel, és országos

jelentőségű vízgazdálkodási létesítményeket is üzemeltet, melyek teljes körű üzemeltetéséhez pedig elengedhetetlen a Regionális Laboratórium működtetése.

#### Fontosabb létesítmények az Igazgatóság területén

- Kiskörei vízlépcső, Tisza-tó (Kiskörei-tározó), Nagykunsági-, Jászsági- és Tiszafüredi öntözőrendszer,
- Tisza-Körös Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (Körös-völgyi vízpótlás)
- Öt árvízi tározó: a Tiszán a Nagykunsági, a Hanyi-Tiszasülyi és a Tiszaroffi, a Zagyván a Jásztelki és a Borshalmi tározó



2. kép. A kiskörei létesítményegyüttes (erőmű, vízlépcső, hallépcső, hullámtéri duzzasztó), háttérben a Téli-kikötő és a Tisza-tó abádszalóki öble (Fotó: KÖTIVIZIG)

Photo 2. The Kisköre complex (power plant, water barrier, fish ladder, barrage in the foreshore), in the background the Winter harbor and the bay of Lake Tisza in Abádszalók (Photo by KÖTIVIZIG)

Kiemelkedő az igazgatóság mezőgazdasági vízszolgáltatásban játszott szerepe. A hazánkban engedélyezett öntözött terület negyede és a rizstelepek majdnem kétharmada itt található. A támogatott főműves vízszolgáltatás keretében az ország 12 vízügyi igazgatósága közül a KÖTIVIZIG mintegy egyharmaddal részesedik a kiadott vízmennyiséget illetően. Ide kapcsolódik, egyúttal példa az innovációra, hogy a KÖTIVIZIG még 2013-ban – az országban elsőként – dolgozta ki a térségre vonatkozó vízkészlet-hasznosítási stratégiáját.

Szintén sok feladatot adnak a vízminőségvédelmi beavatkozások. Különösképpen igaz ez Kiskörére, ahol jellemzően minden évben hatalmas mennyiségű katré (a szél és a hullámverés, illetve árvíz hatására a csendesebb part menti vízfelületeken összeverődött növényi eredetű törmelékanyag, uszadék) gyülemlik fel a vízlépcső felvén. Az eddigi leghosszabb, 480 napig tartó III. fokú környezeti kárelhárítási készütség során, 2021. november közepéig 12 ezer köbméternyi, kommunális hulladékkal kevert uszadékot termeltek ki innen, deponálták a téli kikötőben és a PET-kalózkodók (a PET palackokat összegyűjtő önkéntes csapat) segítségével szelektálták. Ez a mennyiség 180 szabványos tengeri (12 méteres) konténert töltene meg! Csak kommunális hulladékból 521 m<sup>3</sup>-t, uszadékfából 889 m<sup>3</sup>-t, egyéb szerves anyagból pedig 10 638 m<sup>3</sup>-t sikerült kitermelni a vízről. Az anyagnemenkénti válogatást követően 15 140 kg üveget, 1 070 kg fémet és 7 990 kg PET

(polietilén-tereftalát) csomagolóanyagot szállítottak el újrahasznosításra.

Bár a KÖTIVIZIG működési területe nem határos egyetlen szomszédos országgal sem, említést érdemel a kiterjedt nemzetközi kapcsolatrendszere is. Az igazgatóság ugyanis tucatnyi többnemzetes együttműködő projektben vett vagy vesz részt. Ezek koordinálására alakult meg a 2014 novemberében a „külügyi” részleg, a Tisza Iroda.

Az igazgatóság megkülönböztetett figyelmet szentel a vízügyi múlt emlékeinek ápolására, ezért szinte minden fejlesztés kapcsán törekszik a történelem egy-egy darabkájának megőrzésére. Ennek egyik jó példája a „támfalmúzeum”. A szolnoki árvízvédelmi projekt keretében 2014-ben átadott új Tisza-parti sétányon ugyanis látványelemként megőrizték a régi támfal egy 8 m-es szakaszát, ugyanazzal a vonalvezetéssel és magassággal, ahogyan szolgálta a várost 1934-től 2014-ig. Pár méterre innen található az emlék-vízmérce, amely azt szemlélteti, hogy az elmúlt 150 évben miként alakultak a legmagasabb árvízszintek. A vízügyi múlt bemutatását tekintve a legnépszerűbb azonban a Milléri Vízügyi Kiállítóhely, ahol a műemlék szivattyútelep mellett a térségünk vízügyi történeti emlékeivel ismerkedhetnek meg az érdeklődők. Ugyancsak látogatható a sajkói műemlék szivattyútelep, amely az ország első, gőzenergiával működő belvízátelő szivattyútelepe.

Hazánk 2004-es európai uniós csatlakozását követően megnyílt közösségi pályázati támogatási forrásoknak köszönhetően az igazgatóság területén 2013-ig négy vármeget (Jász-Nagykun-Szolnok, Pest, Heves, Bács-Kiskun) érintően mintegy 85 milliárd forint értékben valósultak meg komplex fejlesztések, amelyeknek mind a vízhiány kezelésében, mind pedig az ár- és belvízvédekezésben tetten érhető a kedvező hatása. A jövőt megalapozó beruházások a következő uniós ciklusban is folytatódtak, a 2014-2020-as közös költségvetési periódusban megközelítően 60 milliárd forint értékű vízügyi fejlesztés vált valóra a Közép-Tisza vidékén az EU támogatásával. Ha csak az elmúlt három évet tekintjük át, kilenc, nagy jelentőségű projekt befejezéséről számolhatunk be.

2021-ben véget ért a megközelítően 9 milliárd forint költségű „Árvízvédelmi védvonalak mértékadó árvízszintre történő kiépítése, védvonalak terhelésének csökkentése a Közép-Tiszán” című projekt, amelynek eredményeként a Zagyva töltésének három, a Tisza védvonalának pedig egy szakasza épült ki összesen 11,1 km hosszban az előírt magassági biztonságnak megfelelő szintre. Megújultak a kapcsolódó műtárgyak, továbbá európai viszonylatban is egyedülálló, Karcagi Gábor egykori főmérnökről elnevezett árvízvédelmi gyakorlóút létesült a Millér csatornán.

Ugyancsak 2021-ben fejeződött be a Jászsági vízgazdálkodási rendszer rekonstrukciójának I. üteme. Az 1,6 milliárd forintos beruházás érintette a Jászsági-főcsatorna töltését, medrét, műtárgyait, valamint az üzemirányítás korszerűsítését is. Megtörtént a jelentősen feliszapolódott torkolati szakasz kotrása, 11,5 km hosszban pedig a csatorna töltésének magasítása, így 2,65 millió m<sup>3</sup>-re nőtt a tározó térfogat, ami 0,65 millió m<sup>3</sup>-rel több, mint a fejlesztést megelőző időszakban.

2022-ben ért véget – 13,846 milliárd forint összköltséggel – a vízepítési nagyműtárgyak fejlesztési és rekonstrukciós projekt, amely hét, országos jelentőségű létesítmény (Deák Ferenc-zsilip, Dunakiliti duzzasztómű, Nicki duzzasztómű, Kvassay hajózsilip, Góri-tározó zsilipje, Nyugati-főcsatorna beeresztő zsilip), köztük a Kiskörei vízlépcső felújítását tette lehetővé. A projektnek köszönhetően a 2023-ban 50 éves Kiskörei vízlépcsőn, a hajózsilipen és a hullámtéri duzzasztóművön felújították a vasbeton felületeket, a fém szerkezeteket, a gépészeti és a villamos berendezéseket.

Szintén 2022-ben zárult le a Tisza hullámterének rendezése a folyó Tiszapüspöki és Tiszaug közötti szakaszán. A 15,5 milliárd forint támogatású projekt részeként többek között áthelyezték az árvízvédelmi töltést Besenyszög Fokorú-pusztánál, megtörtént a Vezsenyi-kanyarulat rendezése, valamint árapasztó vápát alakítottak ki a tiszai Tisza-híd környezetében. Ezekkel a beavatkozásokkal jelentősen javulnak az árvízi lefolyási viszonyok, csökkentve a tetőző vízszinteket, ezáltal növelve az árvízi biztonságot.

Véget ért egy másik, az előbbihez hasonló hullámtéri beruházás a szolnoki vasúti híd és Kisköre között is. A 18,1 milliárd forint költségű projektnek köszönhetően az árvizek levonulását elősegítő hullámtéri beavatkozások,

valamint összesen 11 km hosszan töltésáthelyezések történtek a Tisza középső szakaszán Szorópuszta és Doba között, Nagykörű község közelében, Szajolnál és Óballánál. Lefolyásjavító erdészeti beavatkozást pedig összesen 4 100 ha-on végeztek.

Ugyancsak célba ért Belvízcsatornák fejlesztése és rekonstrukciója című, országosan 6 milliárd forint költségvetésű projekt, amelynek részeként a KÖTIVIZIG működési területén belül megvalósult a Villogó belvízcsatorna mederfejlesztése és rekonstrukciója, továbbá az Örvényabádi belvízrendszer csatornáinak mederfejlesztése és műtárgyainak komplex rekonstrukciója. Ennek köszönhetően jelentősen nőtt nem csak a belvízbiztonság, hanem a csatornák medertározási kapacitása is.

A „Síkvidéki vízpótló és tározási lehetőségek fejlesztése I. ütem” elnevezésű, 530 millió forint támogatású projekt keretében a Jászkunországban, a Hajdúságban és a Viharsarokban összesen 7 helyszínen olyan fejlesztés előkészítése történt meg, amelyek együttes víztározási kapacitása meghaladja a 24 millió m<sup>3</sup>-t. Térségünkben a Tiszaderzs-Tiszaszőlősi Holt-Tisza, az Álomzugi többcélú tározó, valamint a szolnoki Alcsi Holt-Tisza fejlesztésének előkészítése zajlott le.

2023 végén fejeződött be az „Árvízi biztonság növelése a Közép-Tisza völgyben” című, 7,5 milliárd forint támogatású projekt, amelynek révén valósult meg a KÖTIVIZIG területén Martfűnél a Tisza bal parti töltés áthelyezése mintegy 800 m hosszban, továbbá a Tisza-tó védelmi rendszerének rekonstrukciója.

Szintén ekkor jelenthettük be a vízügyi ágazati infrastruktúra fejlesztését szolgáló 5,6 milliárd forint költségvetésű beruházás elkészültét. A projekt magába foglalta az Apavára védelmi központ átépítését, a karcagi gépszín építését, a Gástyás II. szivattyútelep rekonstrukcióját és kettős működésűvé tételét, a szolnoki, tiszaligeti védelmi központ átépítését, továbbá a szolnoki Védelmi Osztag telepen raktárak építését. A fő cél azonban az árvízvédelmi töltések állékonyságának javítása volt, ami összesen 48 km gátszakaszt érintett a Tisza, a Hármaskörös és Hortobágy-Berettyó mentén. Ezek egy részén az árvízvédelmi töltés helyzeti állékonyságának javítását a mentett oldali töltéselőtér leterhelésével, máshol a nyúlógátat kiváltó vízoldali agyagpadka építésével oldották meg. Mivel a vízoldali agyagpadkát pályaszerkezet támasztja meg, járulékos haszonként az árvízvédelmi fővédvonal megközelíthetősége is javult.

## EMLÉKEZETES VÉDEKEZÉSEK

### Az évszázad árvize

A fiatalabbak kivételével aligha akad olyan, a Közép-Tisza vidékén élő ember, akinek ne lennének élénk emlékei a 2000 tavaszán levonult rekord magasságú árvízről. Azokban a hetekben a szakembereken kívül a gyerekektől az aggastyánokig szinte mindenki a gáton segédkezett a folyó menti településeken. Ki azzal, hogy homokkal töltötte meg a zsákokat, ki pedig azzal, hogy harapnivalóval és teával kínálta a védekezőket. Az eddigi legnagyobb ár-hullám rendkívüli védelmi készültséget követelt, ugyanakkor példászerű összefogással, hatékony együttműködéssel

sikerült gátak között tartani a hatalmas víztömeget. Az árvízi veszélyhelyzetben több település részleges kitelepítése is indokoltta vált.

Április 17-én érte el az eddigi legnagyobb, 1 030 cm vízállást a Tisza Kiskörén, a vízrajzos mérőcsapat pedig 2 960 m<sup>3</sup>/s maximális vízhozamot regisztrált. Április 19-én 1041 cm szinten tetőzött a folyó Szolnoknál, 67 cm-rel az addigi legnagyobb vízszint fölött. Az igazgatóság által az árvízvédelmi védekezésben foglalkoztatottak létszáma csak ezen a napon 13 328 fő volt. Hat katonai helikopter, 347 építőipari gép, 877 közúti jármű, és 9 vízi jármű is részt vett a hatalmas munkában. A térségben a tetőzés 32 órában keresztül elhúzódott. A szolnoki szelvényben 1 000 cm felett 11 napon, az 1999-es csúc (974 cm) felett 15 napon, az 1970. évi 909 cm-es maximum felett 24 napon, a 800 cm-es (III. fok) vízszint felett pedig 32 napon keresztül „tartózkodott” a víz. A Tisza rekord magas vízszintje jelentősen visszaduzzasztotta a Zagyva és a Hármas-Körös torkolat-közeli szakaszát, így a torkolattól 30-40 km távolságban is új LNV értékek születtek.

Az árvíz ideje alatt a töltések mentén összesen 356 km-en, 839 ha-t borított fakadó víz, szivárgó víz pedig 175 km-en jelent meg. A csurgások száma 944 volt, a buzgárok pedig 124. Utóbbiak közül az április 18-án feltört tiszasasi bizonyult a legnagyobbknak, mivel ennek a bevédésére 23 600 (!) homokzsákra volt szükség. Így méretével kiérdemelte a Közép-Európa legnagyobb buzgára címet, s ma emlékmű idézi fel a település központjában. A KÖTIVI-

ZIG működési területén 123 km-en kellett nyúlgátat építeni, ezen kívül 30 km-en bordás megtámasztás, 69 km-en pedig hullámverés elleni védmű készült. A védekezés során 314 ezer m<sup>3</sup> homokot és 71 ezer t homokos kavicsot használtunk fel. Homokzsákból 8,5 millió fogyott, továbbá 388 ezer m<sup>2</sup> fólia és 8 200 m<sup>2</sup> szádfal!

A rekord árvíz levonulását követő időszakban megindultak a helyreállítási munkák, ezzel párhuzamosan - felhasználva a védekezés tapasztalatait - a „szolnoki vízügyes műhely” kezdeményezésére megszületett a Vásárhelyi Terv Továbbfejlesztése (VTT).

### A suvadások árvize

2006 tavaszán vonult le az az árhullám, amely Tiszakécske alatt – mintegy 270 km hosszúságban – egészen a Dunáig, valamint a Hármas-Körösön Mezőtúr-árvízkaputól a tiszai torkolatig új vízállásrekordokat állított fel. Ez az árvíz azért is emlékezetes, mert hatványozott veszélyt idézett elő a gátak sorozatos megcsúszása a Körös-zugban, ami indokolta Szelevény, Tiszasas és Csépa lakosságának kitelepítését. Végül emberfeletti munkával, széles körű összefogással, és nem utolsósorban innovatív védekezési módszerekkel sikerült megakadályozni a katasztrófát.

2006 kora tavaszán baljós hidrometeorológiai jelek és események sora figyelmeztette a vízügyi szolgálatot arra, hogy a Tisza ezúttal is fenyegeti a térséget. Különleges volt az az időszak, mert addig nagyon ritkán fordult elő, hogy a négy nagy folyónk (a Duna, a Tisza, a Maros és a Körösök) árhulláma egy időben találkozzon.



3. kép. A védekezés jelképévé vált "fehér" gát Csongrád-Nagyvér térségében, a Hármas-Körös jobb partján, a tiszai torkolat közelében (Fotó: KÖTIVIZIG)

Photo 3. The "white" dam that has become a symbol of flood control in the Csongrád-Nagyvér area, on the right bank of the Hármas-Körös, near the inlet at Tisza (Photo: KÖTIVIZIG)

Ezek együttes hatására Tiszakécske alatt végig a Tiszán, a Hármas-Körösön, Mezőtúr-árvízkapu alatt új rekord vízszintek alakultak ki. A marosi és körösi árhullám felfelé Szolnokig, lefelé pedig a vajdasági Törökbecséig éreztette hatását. A Tisza Szolnoknál 1 013 cm-en, Tisza-agnál 946 cm-en, az addig mért legmagasabb szint (LNV) felett 14 cm-rel, Csongrádnál 1 033 cm-en (LNV felett 39 cm-rel), Szegeden 1 009 cm-rel (LNV felett 49 cm-rel) tetőzött. A Hármas-Körös Szarvasnál 986 cm-es (LNV felett 32 cm-rel), Kunszentmártonnál pedig 1 041 cm-es vízálást (LNV felett 56 cm-rel) ért el.

Az árhullám a Közép-Tiszán – még azokon a szakaszokon is, ahol a maximumot nem haladta meg –, az addig mért leghosszabb ideig volt a töltések méretezésére előírt mértékadó árvízszint felett. A hosszan tartó magas vízállás miatt a töltések teljesen átáztak, tíz helyen a stabilitásukat is elveszítették, ezért sok esetben volt szükség a töltés állékonyságának biztosítására. A megtámasztást szolgáló ideiglenes védművek a legtöbb esetben kavicscsal töltött PP zsákokból épült bordák voltak, de ahol nem volt idő ezek kivitelezésére, ott a kavicsal töltött konténerzsákokat alkalmazták, amelyeket katonai helikopterekkel szállítottak oda.

A szükség szülte innovatív megoldásként ekkor próbálták ki az egy köbméteres műanyag konténert, amit üresen két ember is könnyedén a helyére tud emelni, ezután kis teljesítményű szivattyúval a folyóból néhány perc alatt vízzel feltöltve egy tonna ellensúlyt képezett, sokadmagával megakadályozandó a további töltéscsúszást.

A 2006 tavaszi árvízi védekezés során mintegy hatmillió homokzsákot, 16 ezer t követ, 181 ezer m<sup>3</sup> földet és homokot használtak fel, összesen 123 km hosszan épült töltésmagasítás, illetve nyúlgát, 50 km hosszan hullámvédelem, a mentett oldali bordás megtámasztások együttes hossza pedig megközelítette az 54 km-t. A legkritikusabb időszakban a védekezésben több mint 9 ezren működtek közre, köztük több vízügyi igazgatóság munkatársa, 1 500 katona és mintegy 3 000 önkéntes.

### A Tisza-völgy Csernobilja

Ökológiai katasztrófát előidéző események láncolata kezdődött meg 2000. január 30-án, a késő esti órákban, amikor a romániai Nagybánya melletti Zazar település szomszédságában átszakadt az ausztrál-román tulajdonú Aurul nemesfémhánya 93 ha területű zagytározójának a töltése. Ennek következtében mintegy százezer m<sup>3</sup>, cianidral és nehézfémekkel erősen szennyezett, toxikus víz került a Zazar, majd a Lápos-patakba, onnan pedig a Szamosba, a Tisza mellékfolyójába. A cianidhullám február 1-jén lépett Magyarország területére. Az első vizsgálatok 32,6 mg/l koncentrációt mutattak ki Csengerénél, ami meghaladta az érvényben lévő határérték 320-szorosát. Másnap a megmérgezett Szamos vize Vásárosnaménynál beömlött a Tiszába. Már akkor nyilvánvalóvá vált, hogy a kárenyhítés egyetlen érdemi lehetőségét a Kiskörei vízlépcső adja. Február 3-án elnyerte végső formáját a gazdag folyami élővilág, valamint a Tiszából nyert ivóvízen élő 120 ezer ember (Szolnok, Tószeg, Zagyvarékas, Szászberkek, Újszász, Rákóczi falva és Rákócziújfalú lakossága) védelmét szolgáló stratégia, amely a szennyező anyagok hígítására, koncentrációjának minél nagyobb mértékű csökkentésére fókuszált. A cselekvési terv kulcsfontosságú eleme a Kiskörei vízlépcső rendkívüli üzemrendjének kidolgozása volt annak érdekében, hogy a cianidos vizet a Tisza-tavon belül a folyómederben tartsák, majd a tározó medencéiből származó tiszta vízzel felhígítsák. A KÖTIVIZIG szakemberei még ezen a napon - az öblítő csatornák szabályozó műtárgyak nyitását követően - jó minőségű folyóvízzel megkezdték a tározó napi 10-30 cm-es ütemű duzzasztását. Ezzel egy időben megtörtént a Bulátifok elzárása azért, hogy az érkező szennyezett víz ne jusson be az európai jelentőségű madárrezervátumként ismert Tiszavalki-medencébe. A duzzasztás eredményeként február 6-án a Tisza-tó vízszintje a szokásos téli 610 cm-ről elérte a 700 cm-t, így plusz 55 millió m<sup>3</sup>, jó minőségű vizet sikerült betározni. Ezt követően a Tisza-tó belső víztereiinek védelme érdekében lezárták az öblítő csatornák szabályozó műtárgyait.



4. kép. A cianid szennyezés következtében elpusztult halak (Fotó: KÖTIVIZIG)  
Photo 4. Fishes killed by cyanide pollution (Photo by KÖTIVIZIG)

Február 7-én megjelent a szennyező hullám Tiszabólnánál, ettől kezdve azonban a folyóból már nem juthatott víz a tározó belső medencéibe. Még ezen a napon megkezdődött a tározó gyors ürítése, óránként 1-2 cm-es ütemben. A vízlépcső rendkívüli üzemrendje lehetővé tette a megnövelt felszínését, így a nagyobb vízsebesség biztosítását, tulajdonképpen mesterséges árhullámot indított el. Ennek köszönhetően – a tározó medencéiből visszaáramló – mintegy 25 millió m<sup>3</sup> tiszta vízzel sikerült felhígítani a szennyezést. A vízlépcsőnél egyrészt a zsilipkapuk felett és alatt, illetve a turbinákon keresztül távozott az ily módon levegőztetett víz, miközben félóránként vizsgálták a cianid koncentrációját.

Február 8-án délelőtt érte el Szolnokot a sejtméreg, fő hulláma pedig 9-én hajnalban hagyta el a várost. Erre az időre a szolgáltató szüneteltette a vízkivételt a folyóból. Február 10-én a levonuló árhullám visszafogása, az alsótiszai folyószakasz védelme érdekében Kiskörén megkezdődött a felvízszint lassú emelése.

A szennyezés levonulását követő napokban a Tisza középső szakaszán 57 t haltetemet gyűjtöttek össze, s egy-egy élettelen kopoltyúsból testsúlykilogrammonként 2,81 mg ciánt mutattak ki. Becslések szerint összesen mintegy 1240 t hal pusztult el, emellett sok más vízi élőlény is súlyos károkat szenvedett. Az egész világot megdöbbentették a Tisza-mentén akkor készült képek, tudósítások. A környezeti katasztrófa Magyarországon másfél millió embert veszélyeztetett.

A későbbiekben találóan Noé bárkájának is nevezett vízkormányzási intézkedések, közöttük a Kiskörei duzzasztómű rendkívüli üzeme, a Tisza-tavi öblítő csatornák és ártéri fokok lezárása lehetővé tették, hogy a Közép-Tisza vidékén a mérgező anyagot a folyó medrében lehetett levezetni. Ennek köszönhetően a hullámtér, a biológiai sokszínűséggel rendelkező holtágak és a Tisza-tó öblözteinek páratlanul gazdag élővilága gyakorlatilag nem károsodott. A vízügyi beavatkozások révén a szennyezéstől érintetlen maradt 13 holtág (112,2 km), és a Tisza-tó víz-

felületének 93%-a (96,7 km<sup>2</sup>). Ugyancsak jelentős eredmény, hogy a Kiskörén elindított mesterséges árhullám nem okozott gondot a folyó alsó szakaszán, azaz a cianidos víz nem öntötte el a hullámtereket. A bravúros vízkormányzás eredményeként a toxikus anyagok Tiszafürednél mért 5,2 mg/l koncentrációja Kiskörénél 3,8-ra csökkent, Szolnoknál pedig „csak” 8 órán haladta meg a kritikus 2 mg/l értéket. Azóta ezeket a vízügyi beavatkozásokat tananyagként oktatják a felsőfokú mérnök képzésben (Laczi 2018).

### TISZTELT VÁNDORGYŰLÉS RÉSZTVEVŐ!

Röviden szeretnénk volna bemutatni az Igazgatóság kialakulását, tevékenységét, védekezéseit és fejlesztéseit. Mindenkinek szeretettel várunk Szolnokra.

További információk az igazgatóságról: [www.kotivizig.hu](http://www.kotivizig.hu)

A vándorgyűlés bemutatkozó filmje az alábbi linken tekinthető meg: [http://www.hidrologia.hu/mht/index.php?option=com\\_content&task=view&id=818&Itemid=319](http://www.hidrologia.hu/mht/index.php?option=com_content&task=view&id=818&Itemid=319)

### REFERENCIÁK

Fejér L. (szerk.) (2013). Szolnok és a Közép-Tisza-vidék vízügyi múltja IV. (1975-2010). Vízügyi történeti füzetek, Szolnok

Károlyi Zs. (szerk.) (1976). A Közép-Tisza-vidék vízügyi múltja III. (1945-1975). Vízügyi történeti füzetek, Budapest.

Csikos F. (2003). Az 50 éves Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság múltja és jelene. Kiadó: KÖTIVIZIG, Szolnok.

Laczi Z., Nagy R. (szerk.) (2013). 60 éves a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság. Kiadó: KÖTIVIZIG, Szolnok.

Laczi Z. (szerk.) (2018). Negyvenéves a Tisza-tó. Kiadó: KÖTIVIZIG. ISBN 978-615-00-1647 Szolnok, pp. 38-39.

### A SZERZŐK



**LACZI ZOLTÁN** meliorációs üzemmérnök (DATE TSF 1987). 1989-től a print és online sajtó különböző területein dolgozott újságíró, szerkesztő, főszerkesztő-helyettes, főszerkesztő beosztásokban. 2012 végétől a KÖTIVIZIG projektkommunikációért felelős munkatársa, 2017-től az igazgatóság PR-referense. Feladata a sajtóval való kapcsolattartás mellett többek között különböző kiadványok, így a Vízgazdálkodási évkönyv és a Közép-Tisza (a KÖTIVIZIG lapja) szerkesztése, valamint az igazgatósági online kommunikációs csatornák tartalomszolgáltatása.



**BARABÁS IMRE** geológus technikus (Budapest, 1970). Kezdetben a ceglédi Vízkutató és Fúró Vállalat, majd 1972-től 2011-ben történt nyugdíjba vonulásáig a KÖTIVIZIG munkatársa. A terepi hatósági munka mellett vízföldtani és mélyfúrás-technikai dolgozatok, cikkek sorát írta (225 db), emellett a Magyar Hidrológiai Társaság rendezvénysorozatain is gyakori előadó volt. Jelenleg is aktív a szakmában, előadásokat tart és kutatásokat végez a hidrogeológia tudományterületén.

# Könyvismertetés

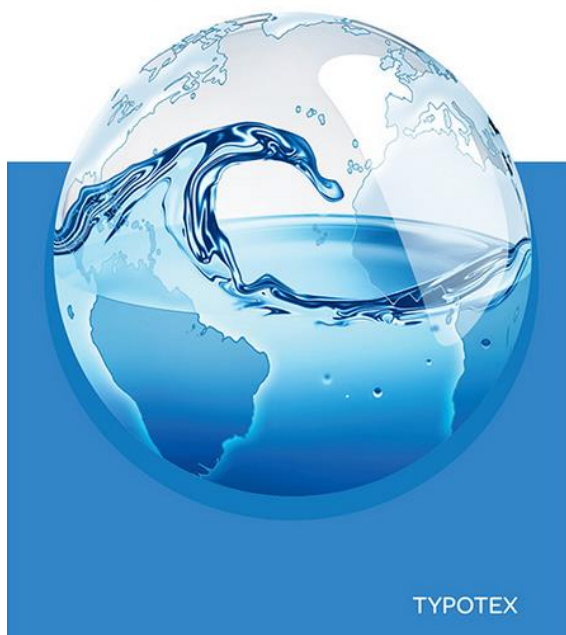


Szöllősi-Nagy András: Az előrejelzés nehéz dolog, különösen, ha a jövőre vonatkozik  
 Typotex Kiadó, 2023, 408 oldal

SZÖLLŐSI-NAGY ANDRÁS

## AZ ELŐREJELZÉS NEHÉZ DOLOG

KÜLÖNÖSEN, HA A JÖVŐRE VONATKOZIK



Az OVF Vízügyi Tudományos Tanácsa által kezdeményezett „A jövőépítés a vízgazdálkodásban” című könyvsorozat legfrissebb kötete jól illeszkedik ahhoz az induló szándékhoz, hogy ismerjük meg a vízügyi szakma kortárs nagy alakjainak gondolkodását, tudományos eredményeit, pályájuknak a szélesebb szakmai közönség számára is tanulságos tapasztalatait. S ha a sorozat eddigi hat kötetéhez hozzászámítjuk a szerző most megjelent visszatekintését, akkor megállapíthatjuk, hogy a szerkesztők is tanultak az eltelt több mint fél évtizedben. A 2017-ben megjelent első kötet szigorú szakmai alapjaihoz és tartalmához képest a továbbiak már oldottabbak lettek, a tudományos „szárazságot” már átlengi az emberi mentalitás változékonysága, ami bizonyítéka annak, hogy nem vagyunk egyformák. Ugyanazt a világot annyiféleképpen éljük meg, ahányan vagyunk. S hogy életünkben mikor hozunk jó döntéseket, s mikor tévedünk, erre számtalan példát kínál Szöllősi-Nagy professzor története.

A visszaemlékezés szerzője mozgalmas históriájában valahogy rendet próbál teremteni, ezért idővonalát öt

főfejezetre osztja: Indulás, Analízis, Szintézis, Nemzetközi vízdiplomácia, és a Végjáték. Ezek így felsorolva talán kissé ijesztőek lehetnek a reménybeli laikus olvasó számára, ezért megnyugtatóan közlöm, Szöllősi-Nagy közismerten széles alapokon áradó matematikai vénáját kellő önfegyelmével nem engedte a szükséges mértéken felül túlsordulni! Csak néha csepegtetett belőle feltehetően kis számú ingyenceinek, így könyve remélhetőleg azok számára is élvezetes olvasmány lesz, akik ugyan lélekben leborulnak a tudomány nagysága előtt, ám alkalmasint könnyed kézzel lapoznak tovább!

Akik a szerzőhöz hasonlóan a „boldogemlékű átkosban” koptatták a Műgyetem padsorait, azok az Indulás oldalain sok egykori ismerőssel találkozhatnak. Itt kell megjegyezni, hogy nemcsak formai, hanem tartalmi tekintetben is jó megoldás a „Szövegládák” (összesen 43 van belőlük!) történeteinek betoldása olyan helyekre, ahol az olvasói figyelem talán egy kicsit is elkalandozhat másfelé, mert ezek az anekdoták, mint cseppben a tenger, jellemzik a kor eseményeit, a szereplőket, de talán leginkább a szerzőt.

A Műgyetemet az akkori idők méltán híres kutatóintézete, a VITUKI követte. Ezt már az Analízisből tudjuk meg. Legendás alakok, mérnökök, tudósok elevenednek meg újra a könyv lapjain, pedig legtöbbször már csak emlékét őrzik mindazok, akik személyesen is ismerték őket. Európa egyik legjobb kutatóintézete megteremtette a külvilághoz való kapcsolódás lehetőségét a tehetséges és nyelveket is tudó fiatal szakemberek számára. Persze, ehhez le kellett tenni valami korszerűt a tudomány asztalára. Szöllősi-Nagy egyetemi diplomamunkája (Lineáris sztochasztikus hidrológiai rendszerek identifikációja) minden humánértelmiségit joggal elriasztana ettől a pályától, ám számára ez volt az az irány, ami kinyitogatta előtte a szocializmus zárt rendszerének kapuit. A hidrológiai jelenségek matematikai modellezése tekintetében nem lehetett rajta politikai fogást találni! Az első nyugat-európai tanulmányutat követték a többiek, amelyek magukkal hozták a szakmai kapcsolatokat. Azért ez nem egy automatizmus volt, hanem a tudományos produkció és a kapcsolatteremtő képesség szerencsés ötvöze. Amikor a laxenburgi IASA (International Institute of Applied System Analysis) vendégszereplés 1974-ben zárba szökött és néhány hónapról két évre növekedett, a világ kinyílt a fiatal hidrológus előtt. A VITUKI-ba visszatérve a hazai és külföldi kétlaki élet többé-kevésbé rendszeressé vált számára és a szakmai előrelépésnek sem volt akadálya. Kutatóintézeti pályájának csúcspontját a VITUKI tudományos főigazgatóhelyettesi kinevezése jelentette, amiről már a Szintézis fejezetben olvashatunk.



Ekkor már az 1980-as évek közepe táján vagyunk, abban a korszakban, amikor a bős-nagymarosi vízlépcső-rendszer körüli támadások elkezdődtek és egyre inkább megütköztek a „vizes”, majd a társadalmi közéletet is. Az ezzel foglalkozó rész címe: Az igazi rémálom: Bős-Nagymaros. Az eseményekben aktívan jelen lévő szerző hangja a témát tárgyalva elkeseredik, az addigi könnyed stíluson átút a megbántottságból fakadó „a mocsár le- hűz” érzés. Mindez érthető: az akkori puhuló diktatúra rendszerével passzívan vagy tevőlegesen is szemben álló értelmiséget a vízlépcső-ellenes mozgalmak megosztot- ták. Valahogy a mélyből a felszínre törtek a humán és a műszaki kultúra közötti ellentmondások. Barátok váltak ellenségé!

De, visszatérve a szerző akkori lelkiállapotához: „*Elmúltam negyvenéves, és egyre jobban erősödött ben- nem az érzés, hogy eljutottam analitikus korszakom vé- géhez. Valami mást kell csinálnom, nagyobb léptékre kell váltanom. ... Kiegészíttem.*”

Irány a nemzetközi vízdiplomácia! Ebből a fejezetből megtudjuk, hogy a tudatosság és a szerencsés véletlenek összjátékából miként került Szöllösi-Nagy 1989-ben az UNESCO felső vezetői apparátusába, a Víz tudományi Osztály élére. Bár a szakterület nemzetközi vonatkozásai nem voltak teljesen ismeretlenek előtte, az UNESCO adminisztratív káosztengerében való eligazodás nem lehetett kisebb feladat számára, mint a 19. századi felfe- dezők afrikai dzsungelkalandjai.

Még elképzelni is nehéz, hogyan lehet a párizsi appa- rátus munkáját összefogni, a szakterület érdekeit akár a felsőbbsséggel szemben is képviselni, ahol nem csupán egyes személyekkel kell az időnként ingatag jóviszonyt fenntartani, de a szervezetben tagként megjelenő kor- mányzatok érdekeit felismerve az ellentéteket elsimítani, s az érintetteket a jó ügyek támogatásához megnyerni. Szöllösi-Nagy András nemzetközi elismertségére nem kisebb személyiség, mint Mosonyi Emil professzor utalt a vele készült interjúkötetben: „*A legmagasabb nemzet- közi beosztást azonban ... Szöllösi-Nagy András érte el, aki fiatalon ... lett az UNESCO Víz tudományi Osztályá- nak igazgatója. Miután az IHA megalakítása kapcsán többször találkoztam vele, személyesen is meggyőződhet- tem arról, hogy Szöllösinek az UNESCO-ban és az ENSZ New-York-i központjának vízügyi szervezetében is rend- kívül nagy a tekintélye*” (Árpási 2006)\*. Az olvasó szeme előtt csakúgy kavarnak a különböző UNESCO, meg nem kormányzati szervezetek, intézmények, programok nagybetűs rövidítései. Hiába no, aki nem élt negyedszá- zadon át ezekben a körökben, az ugyancsak kapkodhatja a fejét. Igaz, a kötet végén a rövidítések feloldása ABC sorrendben szerepel, meg természetesen az első előfor- dulásuk helyén is, ám az eligazodás ettől még alig köny- nyebbedik. Viszont, igencsak tanulságos ez a fejezet azok számára, akik a jövőben a víztudományok nemzet- közi kapcsolatrendszerével akarnak foglalkozni, s annak szubjektív előtörténetével is meg szeretnék ismerked- ni. 2009-ben – az immár hatvanévesre „öszült” – Szöl- lösi-Nagy Andrást a Delftben székelő UNESCO-IHE rektorává nevezték ki. Ez ugyan nagyon jól hangzik, s a

szerző ki is érdemelte ezt a megbízatást, de a könyvből kiderül, hogy korántsem akadálymentesített pályán történt a búcsúfellépések sorozata. Miközben még továbbra is számtalan nemzetközi víztudományi szervezet vezető- ségi tagja és tisztségviselője maradt, 2014-ben végleg visszatelepült Magyarországra.

Az ezt követő időszak történéseiről a Végjáték feje- zetben számolt be. Ám a korábbi feladataitól való elszaka-adás nehezen ment. Ahogy írja: „*...az UNESCO olyan, mint valamilyen mágikus kábítószer. Nem lehet lejönni róla.*” Természetesen itthon is megtalálták a teendőket. A Budapesti Víz Világtalálkozó (egy-két-hár...) szervezési munkáiban való tevékeny részvétel, majd a sorsát tekintve kafka-i végkicsengésű Nemzeti Víz tudományi Prog- ram, ami a VITUKI szomorú halálát követően a MTA glóriájával indult és egy békés fiókban mirtuszkoszorú- val landolt... Azért, hogy vagy végleg ott enyészsen el, vagy csipkerózsikaként egykor feltámadjon? Persze ez utóbbihoz kell egy királyfi is! Aztán szó esik – többek között – az egyetemi oktató munkáról, a Magyar Hidro- lógiai Társaság Közlönyének szerkesztőbizottsági elnök- ségéről, az OVf Vízügyi Tudományos Tanácsának tag- ságáról, a Mérnök Újságban megjelent cikksorozatról, és még sok másról, meg a továbbra is fennálló nemzetközi elfoglaltságokról. Amelyek a sok-sok repülőutat abszol- vált professzort és immár balatoni szőlősgazdát továbbra is szárnyalásra készítetik, vagy kényszerítik. Mikor, me- lyik és hogyan, ez attól függ...

A fejezet kicsit borongósra váló hangulatát oldhatja – a szerintem ideillő – III. Richárdi monológ egy sora: „*York napsütése rosszkedvünk telét tündöklő nyárrá változtatta át...*” – itt a York helyébe nyugodtan írhatjuk a MOMÚ betűszócskát. Történt ugyanis, hogy Szöllösi- Nagy András és festőművész felesége, Nemes Judit, párizsi tartózkodásuk idején az emigrációban egykor élt/élő, többnyire avantgard magyar képzőművészek alkotásainak gyűjtését kezdték el, s az évtizedek alatt páratlan kollekción tudhattak magukénak. Az idő múlá- sával azonban a gyűjtemény későbbi sorsa kérdésessé válhatott, hiszen majdani esetleges szétszóródása nem- csak a Szöllösi-Nagy házaspár műgyűjtői szorgalmát értékelhetné le, hanem egy hazai kultúrkinccs széttörede- zésének veszélyét is magában hordozná. A megoldást a balatonfüredi Modern Műtár (MOMÚ), azaz a Szöllösi- Nagy–Nemes Gyűjtemény létrejötté és működése jelen- tette. Ebben Balatonfüred az épületet és a fenntartói feladatot, a házaspár pedig a műtárgyakat, az időröl- időre változó kiállítási és múzeumpedagógiai programo- kat biztosítja.

A gördülékeny stílusú, szellemesen megírt, s a szerző közéleti véleményét sem palástoló kötet végén találhat- juk a szakirodalmi Hivatkozásokat, a szerző Szakmai életrajzát és Publikációs listáját, ami hatékonyan meg- könnyíti a biográfusok és bibliográfusok munkáját.

*Fejér László  
A Vízügyi Történeli Bizottság elnöke*

\*Árpási Zoltán (2006). Mosonyi Emil a vízépítés professzora. Kossuth kiadó Zrt.

## Nekrológ



Szöllösi Zoltán Tibor 1973-1976 között a Vízügyi Építő Vállalat ösztöndíjasaként végezte el Baján a BME Vízgazdálkodási Főiskolai Kar vízellátási és csatornázási szakát és üzemmérnöki oklevelet szerzett. Pályafutását a Vízügyi Építő Vállalatnál kezdte 1976-ban, mint termelésirányító és építésvezető, ahol elsősorban speciális mélyépítési feladatok (pl. résalapozás) kivitelezésének irányításával foglalkozott.

1980-ban a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatósághoz (KDVVIZIG) került, ahol három éven át árvízvédelmi főelőadó, majd újabb három évig árvízvédelmi csoportvezető volt. E munkakörében feladatát képezte az igazgatóság árvízvédelmi operatív tevékenységének irányítása, döntés előkészítése; védekezés idején a védelmi törzs munkájának koordinálása, az erdészeti teendő irányítása, a hajózási tevékenység és a Műszaki Biztonsági Szolgálat felügyelete. 1982-1986 között a munka mellett elvégezte a Janus Pannonius Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Karát és okleveles közgazda diplomát szerzett. 1985-től 1990-ig az igazgatóság közgazdasági osztályvezetője volt. E munkakörében kiemelt feladata volt a beruházási tevékenység, a létszám-és bérigazgatás és a jövedelempolitika irányítása, a költségvetési beszámolók elkészítése. Szakismereteit azzal is kiegészítette, hogy adótanácsadói és mérlegképes könyvelői képzéseket is elvégzett. 1982-1990 között részt vett a Közép-Duna üzemi lap szerkesztésében, ahol különböző rovatok vezetője volt.

## Szöllösi Zoltán Tibor

Ráckeve, 1955. április 17. - Budapest, 2023. december 24.

1990-ben az Árvíz- és Belvízvédelmi Központi Szervezethez (ÁBKSZ) került, ahol előbb gazdasági igazgatóhelyettes, majd általános és gazdasági igazgatóhelyettes, majd pedig, 1996-ig az ÁBKSZ, mint költségvetési szerv megbízott igazgatója volt. 1996. novemberében irányította az ÁBKSZ átszervezését gazdasági társasággá. A szervezet átalakítása után 2004-ig az ÁBKSZ Kht. ügyvezető igazgatója, 2007-ig általános és gazdasági igazgatóhelyettese, majd újfent igazgatója volt. Az ÁBKSZ-nél eltöltött 17 év alatt sokrétű gazdasági és műszaki irányítási, feladatokat látott el, csaknem egy évtizeden át látta el a szervezet teljes körű irányítását. Kiemelkedő munkát végzett a speciális védelmi gépek és eszközök, anyagok beszerzése, üzemeltetése, karbantartása terén, az azokhoz szükséges kezelő személyzet kiképzésében, gyakorlatoztatásában. Irányította, felügyelte a jégtörő flottát, az ágazati robbantási feladatokat, a központi védelmi osztag működtetését; szervezte a cég vállalkozási tevékenységét. 21 árvízi, belvízi és környezeti kárelhárítási védekezésben és további három külföldi segítségnyújtásban (Lengyelországban, valamint Romániában kétszer) végezte a műszaki irányítási és pénzügyi lebonyolítási feladatokat.

2007–2012 között a KDVVIZIG gazdasági igazgatóhelyettese, elemző közgazdász, majd 2013-tól beruházási és vagyonkezelési osztályvezetője volt. Munkásságát több állami kitüntetéssel ismerték el.

A Magyar Hidrológiai Társaságnak 1980-tól volt tagja, a Budapesti, majd a Közép-Duna-völgyi Területi Szervezetben és a Jogi és közgazdasági Szakosztályban. 1990-től a Társaságnál különböző tisztségeket töltött be. 1990–1995 között az MHT Felügyelő Bizottságának elnöki feladatait látta el. 1996-tól 2003-ig, dr. Starosolszky Ödön két elnöki ciklusa idején az MHT főtitkári pozícióját töltötte be. 2006–2009 között tagja volt az MHT Hydrologia Hungarica Alapítvány (HHA) kuratóriumának, 2009-től 2017-ig tagja a HHA Felügyelő Bizottságának. Az MHT-ban végzett tevékenységének elismerésül 2003-ban Bogdánfy Ödön Emlékremben részesült.

2023. december 24-én, életének 69. évében hunyt el.

Emlékét kegyelettel megőrizzük!

*Dr. Szlávik Lajos  
az MHT tiszteletbeli elnöke*



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

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

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

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

### FORMAI KÖVETELMÉNYEK

Kérjük, közleményük készítésekor tanulmányozzák a **részletes** közlési útmutatót ([http://www.hidrologia.hu/mht/letoltes/hk\\_kozlesi\\_utmutato.pdf](http://www.hidrologia.hu/mht/letoltes/hk_kozlesi_utmutato.pdf)), melyből közléstészünk néhány előírást:

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

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

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

2024-től már angol nyelvű kéziratokat is fogadunk, melyek külön kötetbe rendezve jelennek meg. Az angol nyelvű kéziratok részletes közlési útmutatója:

[http://www.hidrologia.hu/mht/letoltes/hk\\_kozlesi\\_utmutato\\_angol.pdf](http://www.hidrologia.hu/mht/letoltes/hk_kozlesi_utmutato_angol.pdf)

A lapszám a Magyar Kultúráért Alapítvány mint „Támogató”, és a Petőfi Kulturális Ügynökség, mint „Kezelő szerv” támogatásával jött létre.

**Petőfi  
Kulturális  
Ügynökség**

