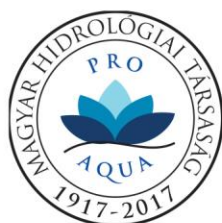

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 102. ÉVF. 2. SZÁM • 2022
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 102. No. 2. • 2022





**Nemzeti
Együttműködési
Alap**



MINISZTERELNÖKSÉG



BETHLEN GÁBOR
Alapkezelő Zrt.



Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

Főszerkesztő

Major Veronika

Főszerkesztő-helyettes és olvasószerkesztő

Konecsny Károly

Szakszerkesztők

Ács Éva

Nagy László

Szerkesztőbizottság elnöke

Szöllősi-Nagy András

Szerkesztőbizottság tagjai

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

Kiadó

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

Hirdetés

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

Indexelik

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr. Fluidex;
Geotechn. Abstr.; Meteor / Geostrophys.
Abstr. Sei.; Water Res. Abstr.
Index: 25374
HU ISSN 0018-1323

Tartalomjegyzék

Major Veronika: Előszó	3
SZAKCIKKEK	
Illés Zsombor, Nagy László, Antal Őrs: Magyarországi árvízvédelmi töltések burkolat repedés felmérése	4
Vas László Tamás: A Duna lebegtetett hordaléktöménységének monitoringja fix telepítésű zavarosságmérő műszer alkalmazásával	14
Szilágyi Ferenc: Az integrált vízgazdálkodás lehetőségei a Laskó-patak vízgyűjtőjén	26
Fekete Árpád: A villámárvíz valószínűségének becslése kétváltozós Markov-lánccal	41
Kovács Krisztián, Kettinger Dóra, Lukács Balázs András, Boda Pál, Baranyai Olga: Vörösiszap katasztrófa után 10 évvel – állapotváltozások a Marcalon	50
Nagy László: Katonai előntés a Nagy Háború idején az Yser mellett	61
ÉLETUTAK	
Major Veronika: Rendhagyó életút interjú Somlyódy László akadémikussal	76
KÖNYVISMERTETÉS	
Nagy László: A GÁTSZAKADÁSOK KÖVETKEZMÉNYE – Gátszakadások a Kárpát-medencében című könyvét ismerteti Konecsny Károly	83



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 Editors

Éva ÁCS

László NAGY

Editorial Board Chairman

András SZÖLLŐSI-NAGY

Editorial Board Members

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

Publisher

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

Advertising

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

Indexed in

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr. Fluidex;
Geotechn. Abstr.; Meteor / Geostrophys.
Abstr. Sei.; Water Res. Abstr.
Index: 25374
HU ISSN 0018-1323

Contents

Veronika MAJOR: Foreword	3
SCIENTIFIC PAPERS	
Zsombor ILLÉS, László NAGY, Őrs ANTAL: Pavement crack survey of Hungarian flood protection embankments	4
László Tamás VAS: Suspended sediment monitoring of the Danube with turbidity sensor	14
Ferenc SZILÁGYI: The possibilities of integrated water management on watershed of Laskó Stream, Hungary	26
Árpád FEKETE: Estimation of flash flood probability with bivariate Markov chains	41
Krisztián KOVÁCS, Dóra KETTINGER, Balázs András LUKÁCS, Pál BODA, Olga Baranyai: 10 years after the redmud disaster – ecological status changes on the Marcal .	50
László NAGY: Military inundation during the Great War at Yser	61
CAREER PATHS	
Veronika MAJOR: Unusual life interview with academician László Somlyódy	76
BOOK REVIEW	
László NAGY: THE CONSEQUENCES OF BARRIER BREAKS – Breaks in the Carpathian Basin – a book review by Károly KONECSNY	83

Cover photo: Flood in Egerszólát, Hungary - 23. 06. 2019.
(Source: <https://youtu.be/RIGBneCijY8>)

Előszó



A *Hidrológiai Közöny* 102. évfolyam (2022) 2. számában megjelenő cikkek érdekes és változatos szakmai témákat érintenek. Az integrált vízgyűjtőgazdálkodástól a katonai elöntésekig különleges kérdéseket ölel fel kötetünk.

Illés Zsombor, Nagy László és Antal Őrs szerzők egy, az egész országot felölelő felmérés alapján mutatják be az árvízvédelmi töltések burkolatainak keletkező repedések jellemzőit. Az Európába is egyedülálló vizsgálat fontos hozzáadéka, hogy a repedés geometriája és a töltés anyaga alapján következtetni enged a repedés kialakulását előidéző folyamatokra.

Vas László Tamás közleményében a folyami monitoring egyik jelentős pontatlanságokkal tarkított szegmensével, a lebegtetett hordalék mérésével foglalkozik, mely közvetett módon, optikai zavarosságmérővel határozható meg. A módszer nagy előnye, hogy a hagyományos technikához képest jelentősen javul a monitoring idő- és költséghatékonysága. A szonda és a kézi zavarosságmérő eredményei között meghatározott erős kapcsolat felhasználásával végezték el a nyers, regisztrált adatok korrekcióját, így számítva a lebegtetett hordaléktöménységet. A partmenti zavarosságmérések és a lebegtetett hordalék mintavételek alapján a partmenti lebegtetett hordaléktöménység és a teljes szelvényen átáramló lebegtetett hordalékhozam között találtak jó kapcsolatot.

Az integrált vízgazdálkodás célja a vízproblémák hatékony, igazságos és fenntartható megoldása. *Szilágyi Ferenc* közleményében a Laskó-patak példáján keresztül elemezte a vízhasználatokat, az érdekellentéteket, és az ellentétek feloldásának lehetőségét. A kompromisszum hatékony megvalósítási módja lehet egy, minden vízhasználót képviselő vízgyűjtő szintű szövetség létrehozása, mely koordinálja a vízhasználók mennyiségi és minőségi igényeit, teret ad a kompromisszumok megkötésének, az érdekek összehangolásának, a támogatási lehetőségek megpályázásának.

Fekete Árpád a Magyarországon egyre gyakoribbá és fenyegetőbbé váló a hegyvidéki területek árvizeinek modellezésével foglalkozik. A Baranya-csatorna példáján mutatja be a csapadék és a vízhozam egyidejű szerepeltetését a kétváltozós Markov-láncban. A magyar nyelvű szakirodalomban ez idáig nem ismert módszer szemléletes bemutatása és alkalmazása egy hazai vízfolyás (Baranya-csatorna) vízhozam adatainak előrejelzésében újdonságot jelent.

A történelem ismétli önmagát. Minap az orosz-ukrán háborúban hallottunk a védelmet támogató katonai elárasztásokról. *Nagy László* a „*Katonai elöntés a Nagy Háború idején az Yser mellett*” című dolgozatában olvashattunk a katonai elárasztás módszeréről, melyet az előző évszázadokban többször alkalmazták a mai Hollandia és Belgium területén. A Nagy Háborúban – az I. világháborúban – ez a módszer mentette meg Belgium utolsó részét a német megszállástól. A cikk különlegessége a 2014-ben elvégzett hidraulikai vizsgálat bemutatása, mely szerint a mai ismereteinkkel megtízszerezhető lett volna az elárasztás hatékonysága.

Ki ne emlékezne a 2010. október 4-én bekövetkezett vörösiszap katasztrófára? Vajon, hogy emlékszik a természet? Erre kérdésre ad választ *Kovács Krisztián, Kettinger Dóra, Lukács Balázs András, Boda Pál és Baranyai Olga* „*Vörösiszap katasztrófa után 10 évvel – állapotváltozások a Marcalon*” című közleménye. A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy körülbelül 2-3 évig tartó fokozatos javulás után nyerte vissza az élővilág a katasztrófa előtti állapotát. Az integrált értékelés szerint a Marcal állapota a VKI monitoring kezdete óta változatlanul mérsékelt, így a célként megfogalmazott jó állapot eléréséhez, hosszú távú fenntartásához további intézkedések szükségesek. Azonban elgondolkodtató az idegenhonos fajok megjelenése, mivel bolygatással a vizek sérülékenyebbé, kevésbé ellenállóvá válhatnak az invazív fajokkal szemben. Így a vörösiszap szennyezésnek és az áradat levonulásának, illetve az azt követő beavatkozásoknak is lehet szerepe a terjedésükben.

Lapszámunk **ÉLETÚT INTERJÚ** rovatában büszkeséggel tesszük közzé Somlyódy László akadémikussal készített rendhagyó interjúnkat szakmai életéről, sikereiről és pályafutása kritikus pillanatairól.

Végül örömmel adtunk teret egy kitűnő könyv ismertetésének. Konecsny Károly ajánlásával ismerhetjük meg *Nagy László* „*A GÁTSZAKADÁSOK KÖVETKEZMÉNYE – Gátszakadások a Kárpát-medencében*” című könyvét. Láng István OVF főigazgató értékelése szerint:

„*Alapmunka, és a vízügyes szakemberek számára kötelező olvasmány. Szükséges ahhoz, hogy a gátakon való küzdelem irányítását a védelemvezető felelősen végezze, a jelenségeket megismerje*”.

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

Dr. Major Veronika
a *Hidrológiai Közöny* főszerkesztője

Magyarországi árvízvédelmi töltések burkolat repedés felmérése

Illés Zsombor^{*,**}, Nagy László^{*}, Antal Örs^{**}

^{*}Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

^{**}Országos Vízügyi Főigazgatóság, Árvízvédelmi Főosztály, Folyógazdálkodási Osztály

(E-mail: zsombor.illes@edu.bme.hu, lacinagydr@gmail.com, antal.ors@ovf.hu)

Kivonat

Az elmúlt évtizedek során az árvizeket gyakran hosszan tartó aszályok követték, éghajlatunk egyre szélsőségesebbé vált. Azok a töltések, melyek térfogatváltozó talajból épültek, a zsugorodás következtében jellemzően megrepedeztek. Ezek a repedések jelentkezhettek a töltés felszínén, száradási poligonok formájában, vagy akár 1-2 méter mélyre is hatolhatnak.

Az árvízvédelmi töltések repedéseinek feltárásával már több évtizede foglalkoznak a magyar árvízvédelmi és geotechnikai szakemberek. Az 1990-es évektől kezdve több ütemben vizsgálták a repedések feltárásának lehetőségét geofizikai mérésekkel. 2018-ban országos felmérés készült a burkolat repedésekről az Országos Vízügyi Főigazgatóság megbízásából. Európában hasonló átfogó felmérést még nem végeztek, Amerikában is csak az egyes államok megyéire terjedtek ki útburkolat repedés felmérések. A felmérés fontos hozadéka, hogy a repedés geometriája és a töltés anyaga következtetni enged a repedés kialakulását előidéző folyamatokra.

Kulcsszavak

Felmérés, árvízvédelmi töltések, burkolat repedések, térfogatváltozó talajok, víztartalom változás.

Pavement crack survey of Hungarian flood protection embankments

Abstract

During the past decades the floods were replaced with droughts, our climate became more extreme. Those dikes that were constructed from soils prone to swelling and shrinkage, due to shrinkage, cracks appeared on them. These cracks could appear on the surface of the embankments as desiccation polygons, can even penetrate 1-2 meters depth.

Hungarian flood protection and geotechnical experts have been exploring the cracks of dikes for decades. From the 1990s onwards, the possibility of crack detection by geophysical measurements was investigated in several stages. In 2018, a national survey of pavement cracks was commissioned by the General Directorate of Water Management. A similar comprehensive survey has not yet been conducted in Europe, and in America, pavement crack surveys have been limited to regions of counties or parts of individual states. An important result of the survey is that the geometry of the crack and the material of the dike allow us to deduce the processes that causes the formation of the crack.

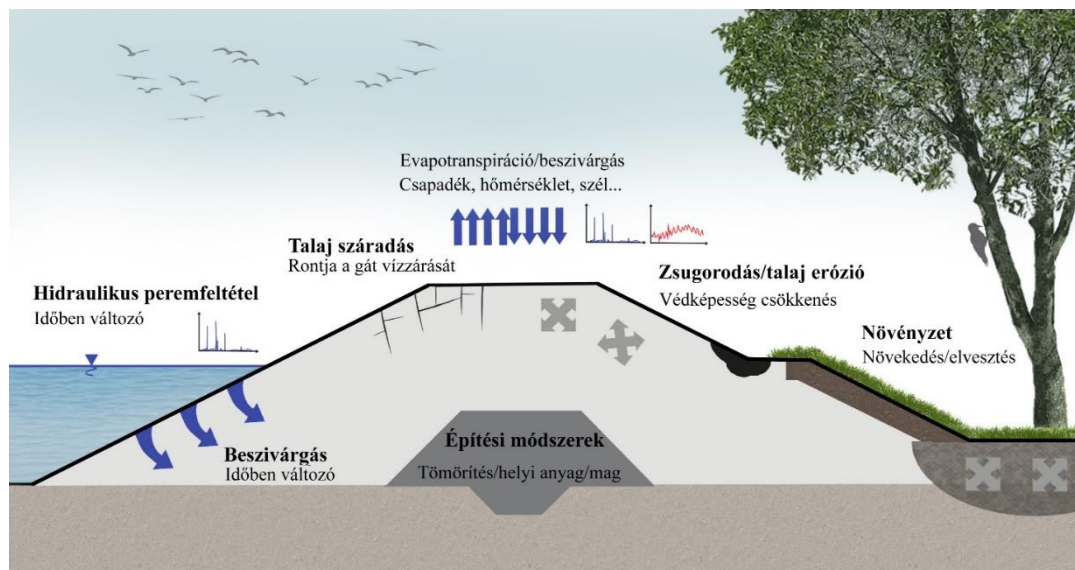
Keywords

Survey, flood protection embankments, pavement cracks, vertisols, water content change.

BEVEZETÉS

A megjelenő aszály, az egyenlőtlen csapadék és a hirtelen kialakulású árvizek mind károsíthatják az infrastruktúra földművek állapotát, azok vízháztartása felborulhat. A témában több összefoglaló tanulmány is született (Vardon 2015, Tang és társai 2018, Pk és társai 2020). A szemcsés és kötött talaj

töltések párolgás következtében száradnak, míg eső és áradás hatására átnedvesednek, a nedvességtartalom változása a rézsűk stabilitására is hatással van. Az 1. ábra a töltés környezettel való közvetlen interakcióit, úgy mint; beszivárgás, párolgás és ezek hatásait, mint száradás, zsugorodás vagy akár duzzadás foglalja össze Vardon (2015) alapján.



1. ábra. Infrastruktúra földművekre nehezedő környezeti hatások Vardon (2015) alapján
Figure 1. Environmental effects acting on infrastructure embankments, based on Vardon (2015)

BURKOLAT REPEDÉSEK

A csapadék ingadozás következtében a térfogatváltozó talajok víztartalma lecsökkenhet, kiszáradnak és zsugorodnak, amelyek következtében repedések jelennek meg a gát koronáján. Magyarországon az elsődrendű árvízvédelmi védvonalak töltéskoronája – a védekezés megkönnyítése érdekében – jelentős arányban burkolattal rendelkezik. Az aszfalt burkolat képlékeny, a repedések egy részét vélhetően elfedi, de így is sokat megmutat a gát belsejében lejátszódó folyamatokból.

Az elvégzett felmérésről

2018-ban egy átfogó felmérést rendelt meg az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF). A 12 vízügyi igazgatóság azt a feladatot kapta, hogy a burkolt töltéseiken megjelenő repedéseket dokumentálják.

A felmérés Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (ATIVIZIG) területére vonatkozó részét külön is összefoglaltuk (*Illés és társai 2021*), mivel az Alsó-Tisza vidékén akár több hónapig is elhúzódhatnak az árvizek, ezért itt különösen fontos a töltések állapota.

Hasonló léptékű felmérés még nem készült hazánkban, illetve Európában is egyedülálló. *Dafalla és Shamrani (2011)* térfogatváltozó talajok tipikus repedés képeit dokumentálta. *Jouben (2014)* Texas állam (USA) középső területén, Austin környékén vizsgálta kisméretű utak hosszanti burkolat repedéseit, amely során megállapította, hogy a töltések altalajából vett minták térfogatváltozóak.

A hazai felmérés során az alábbi adatok kerültek összegyűjtésre a burkolat repedésekről:

- a repedés helye a töltésen,
- a repedés helye a koronán belül,
- a repedés iránya a töltés tengelyéhez képest,
- a repedés kiterjedése a burkolaton belül,
- a repedés vastagsága,

- a repedések száma és elhelyezkedése (kevés, több párhuzamos, hálózatos),
- a repedés jellege (felgyűrődött, javított, nyomvályús, töredezett burkolat szél).

A repedések geometriájának dokumentálását képek segítségével végezték a vízügyi szakemberek. Burkolat károsodások esetén a kb. 25 cm-t meghaladóakat dokumentálták a vízügyi igazgatóságok munkatársai.

A repedések számszerűsíthető adataira is kíváncsiak voltunk, úgymint a repedés kiterjedése (m vagy m²-ben) és a repedés következtében kialakult magasság különbség a burkolat felszínén (cm-ben).

A repedésekről az alábbi hely azonosítókat gyűjtötték össze:

- vízügyi igazgatóság neve (rövidítése),
- töltésszakasz száma,
- folyó és part neve,
- töltéskilométer megjelölés,
- a fénykép készítésének EOV koordinátái,
- a töltés magassága,
- a töltés tengelyének az északi iránnyal bezárt szöge.

Továbbá a töltés altalaja a burkolat alatt, ám ezt nem tekintjük topográfiai azonosítónak. Egy későbbi fejezetben részletesen tárgyaljuk a töltés anyaga és a repedés közötti összefüggést.

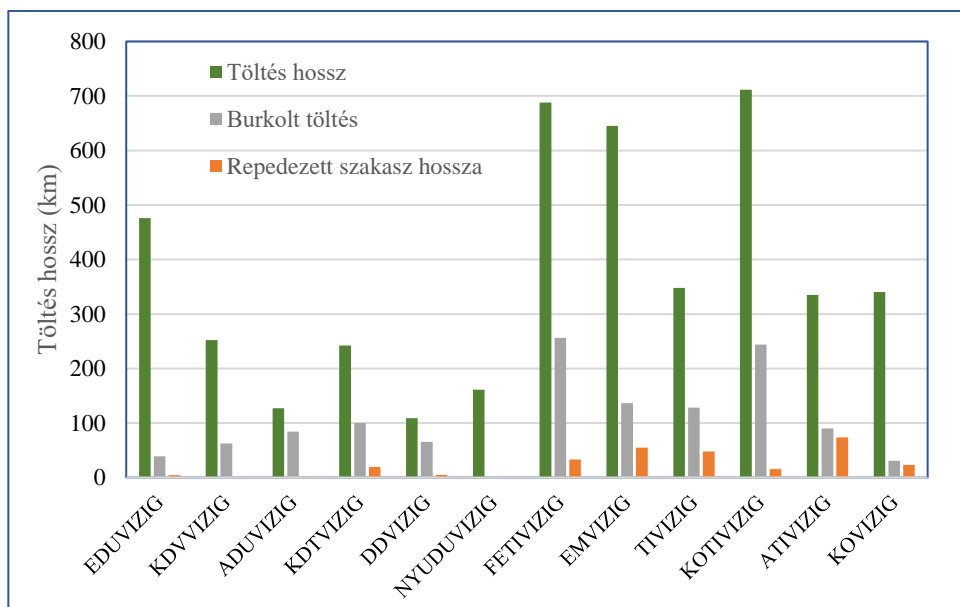
A vízügyi igazgatóságok a felmérés során 1987 db repedést azonosítottak, ez közel 166 db repedést jelent igazgatóságonként. A dokumentált repedések 97,6%-a a koronán volt. Ezek darabszámát és hosszát, illetve az egyes igazgatóságok által kezelt gátszakaszok hosszát az *1. táblázat* tartalmazza. Ebben a táblázatban megjelenik a fajlagos repedés szám és a fajlagos repedés hossz is. Átlagosan négy repedés jelentkezik burkolt gátszakasz kilométerenként, átlagos hosszuk pedig 278,5 m volt. Az átlagos töltés magasság 3,5 m.

1. táblázat. Burkolat repedési adatok vízügyi igazgatóságonként
Table 1. Pavement crack data of each Water Directorates

VIZIG	Igazgatóság rövidített neve	Teljes töltés hossz	Burkolt töltés	Burkolat repedés	Repedezett szakasz hossza	Repedések fajlagos száma	Fajlagos repedések	Átlagos gátmagasság
sorszám		km	km	db	m	db/km	m/km	m
1	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
01.	ÉDUVIZIG	475,81	38,84	563	4 246	14,50	109,33	2,8
02.	KDVVIZIG	252,40	62,46	29	80	0,46	1,28	2,8
03.	ADUVIZIG	127,22	84,42	361	2 360	4,28	27,95	4,6
04.	KDTVIZIG	242,44	99,84	59	1 631	0,59	196,62	3,7
05.	DDVIZIG	108,59	65,09	86	4 660	1,32	71,60	3,3
06.	NYUDUVIZIG	161,08	2,42	60	983	24,79	406,20	2
07.	FETIVIZIG	687,75	256,30	259	32 895	1,01	128,35	3,2
08.	ÉMVIZIG	644,78	136,20	186	54 900	1,37	403,09	2,9
09.	TIVIZIG	347,89	128,34	130	47 811	1,01	372,53	3,5
10.	KÖTIVIZIG	711,30	243,85	152	15 717	0,62	64,45	3,7
11.	ATIVIZIG	334,83	90,14	29	73 493	0,32	815,35	4,7
12.	KÖVIZIG	340,17	30,74	73	22 888	2,37	744,62	4,7
Összesen:		4 434,26	1 238,64	1 987	279 664			

Az 1. táblázat harmadik oszlopában feltüntetett töltés hossz a vízügyi igazgatóságok területén található elsőrendű védvonalak hosszát jelenti. Igazgatóságokként el-

térő, hogy ezek hány százaléka burkolt. Az összes töltés, a burkolt és a repedezett szakaszok hosszának arányát a 2. ábrán foglaltuk össze.



2. ábra. A vízügyi igazgatóságok által kezelt burkolt és repedezett töltés hosszak összehasonlítása
Figure 2. Comparison of total length of paved and cracked embankments managed by water directorates

Országosan az árvízvédelmi gátak hossza igazgatóságokként és a burkolt szakaszok hossza sem egyenletes eloszlású. A domborzati és a meteorológiai hatások is különbözőek. A probléma lényegére és súlyosságára egyes területeken az egységnyi gáthosszra jutó burkolat repedésekből is következtethetünk. A Felső-Tisza-vidéki és a Tiszántúli Vízügyi Igazgatóság kezelésében lévő elsőrendű védvonalak több mint egyharmada burkolt. Esetükben átlagosan egy kilométerre egy repedés jut. Ezzel szemben a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság területéről jelentették az egy kilométerre eső legtöbb repedést (24,79 db/km). Ehhez az is hozzátartozik, hogy a 161,08 km hosszú töltés szakaszból saját bevallásuk szerint csak 1,5% burkolt, vagyis a többi vízügyi igazgatósághoz képest nagyságrendileg kisebb ezek hossza. Rövidebb szakaszt könnyebb aprólékosan átvizsgálni, így ez is torzíthatja a kapott eredményt. A problémás területek azonosítására szolgálhat még az egy kilométerre eső repedések számán kívül azok hossza, amiből a repedések kiterjedtségére tudunk következtetni.

Az elmúlt 10 évben a szükségtároló építések és a védvonal fejlesztések következtében az elsőrendű árvízvédelmi gátak hossza 4 400 km-re emelkedett.

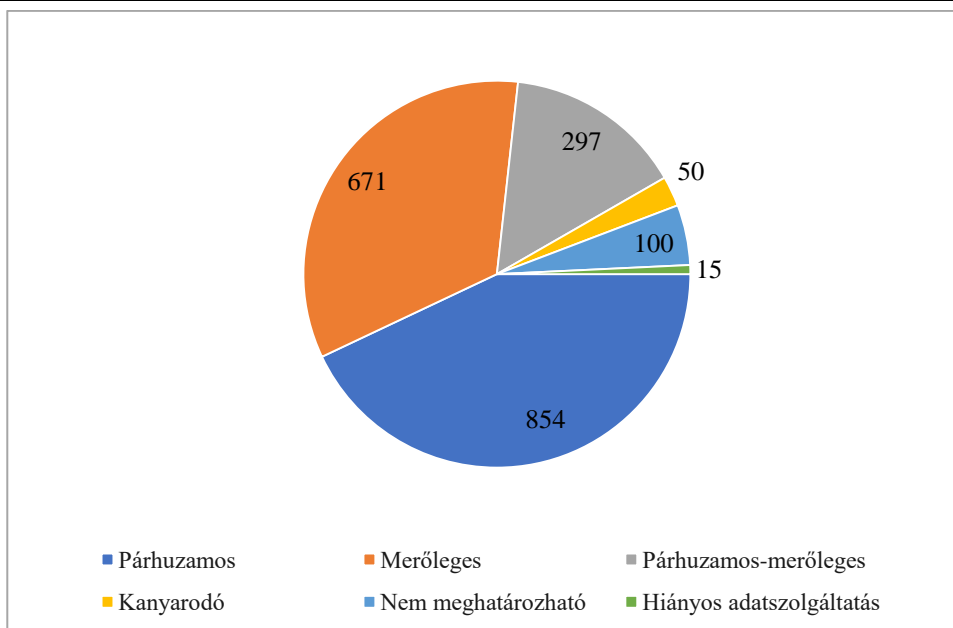
Az 1. táblázat adatai alapján megállapítható volt, hogy egy kilométerre a legtöbb repedés (24,79 db/km) a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság területéről jelentették. A második helyen (14,5 db/km) az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (ÉDUVIZIG) áll, mely teljes töltés szakaszának csak 10%-a burkolt. A harmadik helyen (4,28 db/km) az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (ADUVIZIG) áll, itt a töltések 2/3 burkolt, így nem feltételezzük, hogy a felmérést a burkolt töltések hossza torzította volna.

Az egy kilométerre eső repedés hosszok tekintetében, leszámítva a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóságot a tiszai vízügyi igazgatóságok állnak elől (I. ATIVIZIG, II. KÖVIZIG), utóbbinál megjegyzendő, hogy töltéseinek kevesebb mint 10%-a burkolt. A 12 vízügyi igazgatóság területén található elsőrendű védvonalak 28%-a burkolt.

A vízügyi igazgatóságokat a felmérés során arra kértük, hogy a burkolat repedések elhelyezkedését, irányát, jellegét és kiterjedését jegyezzék fel és dokumentálják. Ez a tanulmány a nemzetközi szakirodalom által és hazánkban is dokumentált töltés burkolat repedések mellett foglalkozik a töltés talajának anyagával és a repedés kialakulásának az okával is.

Alapvetően hat különböző csoportba soroltuk a repedések irányát a töltés tengelyéhez viszonyítva. A felmérés során feltárt repedések irányát a 3. ábra foglalja össze. A hat csoporton kívül voltak olyan esetek, amikor hiányosak voltak az adatok. Az egyes kategóriákat a felmérés során az alábbiak szerint határoztuk meg:

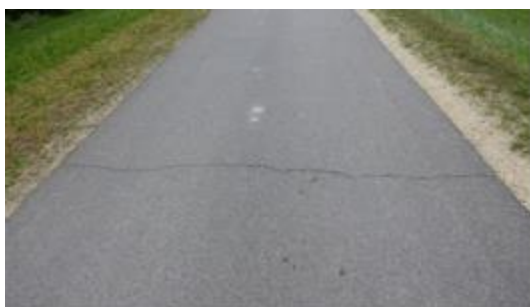
- párhuzamos a töltés tengelyével,
- merőleges a töltés tengelyére,
- párhuzamos-merőleges repedéseket is tartalmaz, ide sorolandók a repedés hálózatok is,
- átlós és kanyarodó, a töltés tengelyével szöveget zár be vagy pedig irányt vált,
- nem meghatározható, a burkolat felülete annyira károsodott, hogy a repedés iránya nem látszik,
- nincs adat, dokumentálva lett a repedés ténye, viszont nem rendelkezünk információval az irányáról.



3. ábra. Jelentett burkolat repedések irányának összesítése
 Figure 3. Summary of the direction of reported pavement cracks

Elmondható, hogy a repedések alapvetően párhuzamosan vagy merőlegesen futnak a töltés tengelyével. Elképzelhető ennek a két iránynak az együttes megjelenése is, ezt nevezhetjük blokk repedésnek. Az 1987 esetből összesen 165 esetben nem voltak a repedések párhuzamosak vagy merőlegesek (kanyarodó, nem meghatározható és nincs adat), ami kevesebb mint az esetek 10%-a (8,3%).

Dafalla és Shamrani (2011) a felmérésük során hat különböző típusú burkolat repedést különített el, amelyek térfogatváltozó talajokhoz tartoznak. A repedéseket Szaúd-Arábiában dokumentálták. Az általuk megkülönböztetett hat repedés típus közül a következő négy volt fellelhető a hazai gátak koronáján (4-7. ábra) (Nagy 2019).



4. ábra. Az út tengelyére merőleges repedések (Nagy 2019)
 Figure 4. Perpendicular cracks to the road axis (Nagy 2019)



5. ábra. Az út tengelyével párhuzamos repedések (Nagy 2019)
 Figure 5. Parallel cracks with the road axis (Nagy 2019)



6. ábra. Blokk repedések (párhuzamos és merőleges repedések) (Nagy 2019)
 Figure 6. Block cracks (parallel and perpendicular cracks) (Nagy 2019)



7. ábra. Fáradási (aligátor) repedések (Nagy 2019)
 Figure 7. Yield (alligator) cracks (Nagy 2019)

A felmérés kiértékelése során a blokk és a fáradási repedéseket is a párhuzamos-merőleges repedésrendszerek csoportjába soroltuk. Dafalla és Shamrani (2011) a tengelyre merőleges repedések megjelenése esetén közepes

és/vagy magas duzzadási potenciállal rendelkező talajok jelenlétét és a tengelyre merőleges felszín alatti vízmozgást tételeztek fel. Jelen cikk szerzői ezt az állítást vitatják, mivel a merőleges repedések, mint minden más repedés

akkor jelenik meg, ha a húzófeszültségek meghaladják az aszfalt húzási ellenállását.

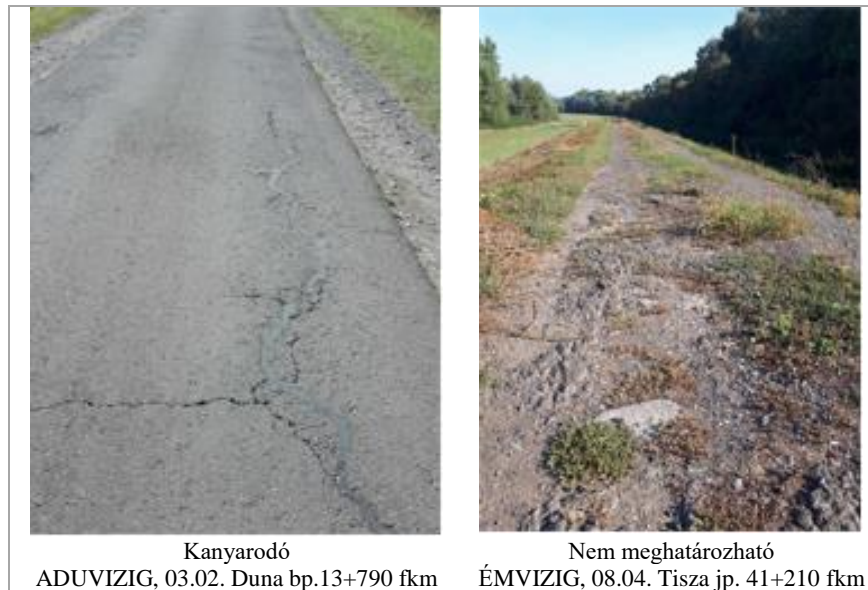
A hosszanti repedések kialakulását *Zornberg és Gupta (2009)* és *Zornberg és társai (2012)* foglalták össze olyan kisforgalmú utak esetében, mint amilyenek a burkolt töltések is. A töltésvállak vannak leginkább kitéve az éghajlat viszontagságainak, mivel az itt jelenlévő térfogatváltozó agyagok zsugorodnak és duzzadnak, így az útpályában ennek következtében húzó feszültségek jönnek létre és megjelennek a burkolt szélekkel párhuzamos repedések.

Amennyiben a víztartalom változás az egész töltésre kihat, pl. egy hosszabb aszályos időszak esetén a töltés

szétszáradhat, az aszfalt pedig ezt nem tudja követni, így blokk repedések jelennek meg a burkolat felszínén.

A fázadási repedések kialakulására többféle magyarázat van. Okozhatja komoly gépjármű forgalom, ez árvízvédelmi töltések esetén csak árvízi védekezésnél jelentkezhet. Amennyiben az út alaprétegébe bejut a víz és a víztelenítés nem megoldott, akkor a térfogatváltozó agyagok duzzadnak majd zsugorodnak, így ez is egyfajta ciklikus igénybevételként hat az aszfaltrétegre.

A bemutatott eseteken kívül további két repedés csoportot különböztettünk meg, úgymint a kanyarodó és a nem meghatározott repedés kép, melyek a 8. ábrán láthatóak.



8. ábra. Kanyarodó és nem meghatározható repedés kép (Nagy 2019)
Figure 8. Winding and undetermined crack pattern (Nagy 2019)

Árvízvédelmi töltések anyaga

Az árvízvédelmi töltések általában helyi anyagból épültek (agyag, tőzeg, iszap, homok) kereszt szállítás alkalmazásával. Ez a gyakorlat Magyarországon – akár csak Európában – bevett módszer volt (Nagy 2006, Dyer és társai 2009). Kereszt szállítás esetén az anyaggyerőhelyek a töltés vízoldalán helyezkedtek el és az itt kitermelt anyagot használták a gátak építésére. A Kárpát-medence gát rendszerét 200 éve kezdték el építeni a Tisza szabályozáshoz kapcsolódóan Vásárhelyi Pál irányítása alatt. Azóta a töltéseket sokszor magasították és erősítették (Nagy 2006), ami a töltéstest keresztmetszetének növelését vonta maga után. A gátrendszer legnagyobb építési problémái a következők:

- (i) töltés építésre alkalmatlan talaj felhasználása,
- (ii) nem megfelelő tömörítés,
- (iii) kötött talajok magas víztartalomra történő beépítése,
- (iv) nem megfelelő altalaj viszonyok (pl. holtág keresztelés).

Ezek az építési hibák együttesen és külön-külön is előfordulhatnak (Nagy 2000).

Az első átfogó állékonyság vizsgálati programot hazánkban 1996-ban fejezték be, az akkor még mintegy 4200 km elsőrendű védvonal felmérésével. Ezen felmérés talajmechanikai vizsgálatokból, geoelektromos felmérésekből

és az altalaj stabilitásának meghatározásából tevődött össze (Nagy 2000).

A száradási repedések sokszor nem jelennek meg a töltés burkolaton. Amennyiben igen, kiterjedésük a burkolaton jelentkező repedéseknél jóval nagyobb lehet, felderítésükre georadar alkalmazható (Nagy 2010). Továbbá, állandó elektróda kiosztással végzett geoelektromos mérés alatt NaCl oldatot nyeltek. Mivel eredetileg a repedéseket levegő töltötte ki, így a sóoldat hatására ennek ellenállása csökkent le (Nagy és társai 2008, Kovács és társai 2020).

A repedések kialakulása a víztartalom eloszlás változásához köthető. A víztartalom diszkrét pontokban zavart mintákból is meghatározható (Nagy és Huszák 2012, Nagy és Illés 2016). Geoelektromos méréssel diszkrét pontok helyett egy teljes kereszt- vagy hosszszelvény víztartalom eloszlását kaphatjuk meg (Nagy 2000, Nagy és Huszák 2012). A szerzők azon fázadoznak, hogy egy talajnedvesség monitoring rendszer segítségével folyamatosan adatokat kapjanak a töltés talajnedvesség eloszlásáról.

Duzzadás-zsugorodás jelensége

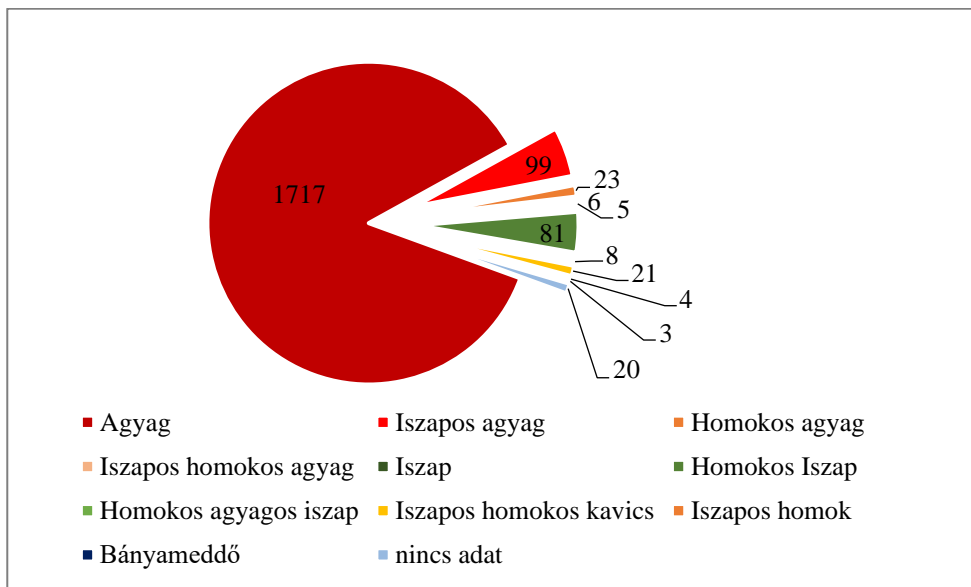
A potenciális duzzadás-zsugorodás veszélyt a kötött talaj jelenti. A háromrétegű agyagásványok, illit, vermikulit

és szmektit csoport közül az utóbbi víz hatására erősen duzzad, száradáskor pedig repedezett a felszíne. A talajok agyagásvány összetételének meghatározására különböző vizsgálatokat alkalmazhatunk, mint például a röntgendiffrakció (RTG) és differenciális-termikus analízis (DTA) (Mitchell 1974).

Stefanovits és Dómbóvári (1985) megállapításai alapján a Tisza-völgy talajai szmektit tartalmúak, így duzzadásra hajlamosak. A Tisza menti árvízvédelmi töltések duzzadás-zsugorodás problémájával már korábban is foglalkoztak kutatók (Szepessy 1991, Lazányi és Horváth 1997).

Töltés anyaga a károsodott burkolat alatt

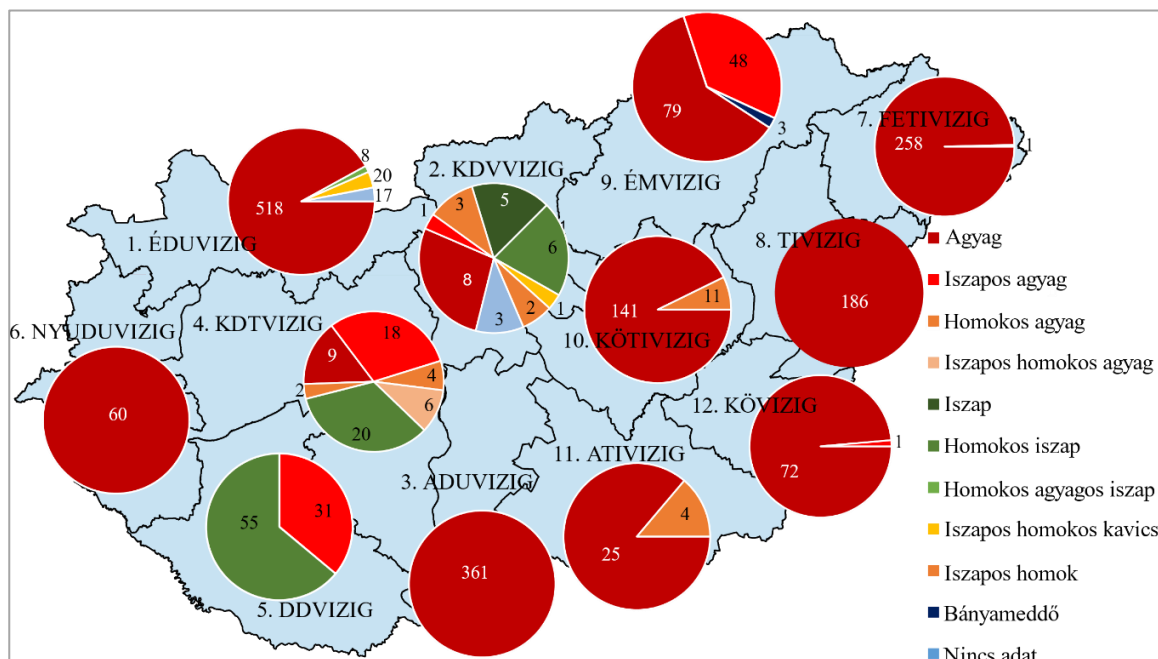
Mint ahogy a 9. ábra szemlélteti, a burkolat alatt közvetlenül az esetek 87,3%-ában agyag talajt neveztek meg töltésanyagként a vízügyi igazgatóságok. Az esetek 98,6%-ában valamilyen kötött talaj (agyag, iszap) került beépítésre. Mindössze az esetek 1%-ban (20 eset) nem tudták az igazgatóságok megnevezni a töltés összetételét, ám vélhetően nagyrészt ez is kötött talaj. A szemcsés anyagból épült töltések részesedése 1% alatti. Alapvetően nem használnak szemcsés talajt az árvízvédelmi töltés építésére, mivel a jó szivárgás gátló tulajdonság elengedhetetlen. Természetes talajok (nem stabilizáltak) esetén csak a kötött talajok rendelkeznek eléggé kicsi vízáteresztő-képességi együtthatóval ($k=5 \cdot 10^{-7}$ m/s).



9. ábra. Töltés anyaga a károsodott burkolat alatt
Figure 9. Dike material under the damaged cover

A burkolat repedések alatt található töltés anyagot vízügyi igazgatóságokként bontva a 10. ábra mutatja be. A

Tisza völgyében szinte kizárólag agyagok találhatóak a repedezett burkolatú töltés alatt.



10. ábra. Töltés talaja a repedezett burkolatú szakaszok esetén, vízügyi igazgatóságokként
Figure 10. Dike material under the cracked pavement section, at each water directorate

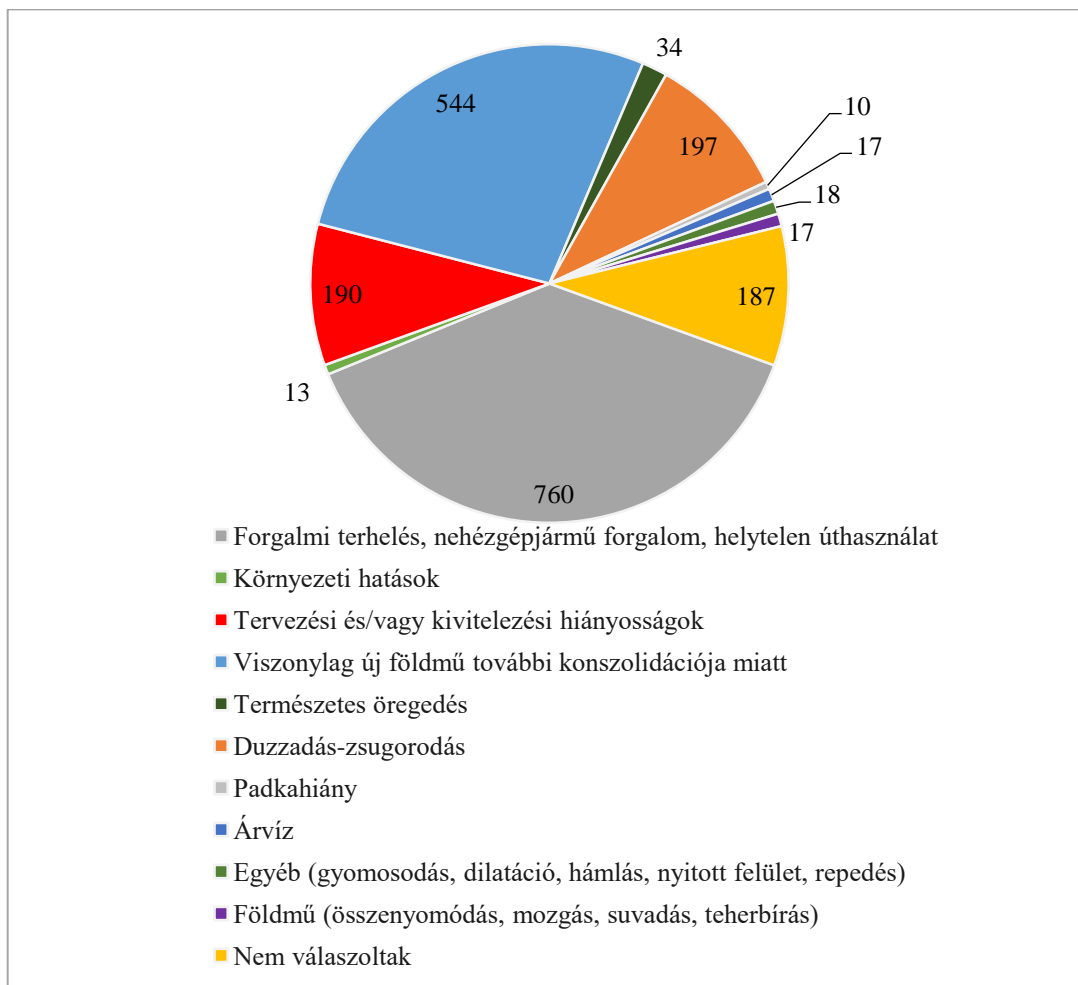
A TÖLTÉSBURKOLAT REPEDÉS KIALAKULÁSÁNAK OKAI

A vízügyi igazgatóságoknak kiküldött kérdéssorban arra kerestük a választ, hogy mi okozhatta a burkolat repedés kialakulását. Itt elengedhetetlen volt a felmérők előzetes ismerete.

A károsodás kialakulásának oka a felmérő szerint

A válaszok 11 csoportba rendezhetők: i) Forgalmi terhelés, ii) Környezeti hatások, iii) Tervezési és kivitelezési hiányosságok, iv) Földmű konszolidáció, v) Természetes öregedés, vi) Duzzadás-zsugorodás, vii) Padka hiány, viii) Árvíz, ix) Egyéb, x) Felszínmozgások, xi) Nincs válasz.

Az esetek közel 10%-ában nem érkezett erre a kérdésre válasz, szintén 10%-os eredményt ért el a tervezési és kivitelezési hiányosságok és a duzzadás-zsugorodás jelensége. Az esetek közel 28%-ában az új földmű konszolidációja miatt jelentkeztek a repedések. A konszolidáció lejátszódásának meghatározására számításokat lehet végezni, így annak szükséges időtartama, amíg a burkolatot nem lehet a töltésre ráhelyezni, definiálható. A leggyakoribb problémaként (38%) a forgalmi terhelést jelölték meg a vízügyi igazgatóságok, igaz, hogy a válaszok közel fele (361 a 762-ből) az Alsó-Duna-völgyi Igazgatóságtól származik. A válaszok eredményeit kördiagrammon ábráztuk (11. ábra).



11. ábra. Töltésburkolat károsodásának okai
Figure 11. Causes of damage on the paved embankments

Repedés kialakulása, árvíz-aszály

Az árvízvédelmi töltéseket a szélsőséges természeti jelenségek, úgy mint, árvizek, aszályok károsíthatják. A hirtelen hóolvadást vagy a csapadékosabb időszakokat árvizek követnek, melyek következtében a töltések különböző mértékben átmedvesednek, akár károsodnak is. Árvizek esetén az Országos Vízügyi Főigazgatóság az alábbi készültségeket különbözteti meg: I., II. és III. fokú. Ezzel szemben az aszály egy meglehetősen komplex természeti jelenség, amely sokféle módon jellemezhető és a különböző szempontok szerint vizsgálva eltérő jellegzetességeket mutat (Országos Meteorológiai Szolgálat 2020). Palmer (1965) definíciója szerint az aszály tartós és jelentős csapadékhiány. Megkülönböztethetünk meteorológiai,

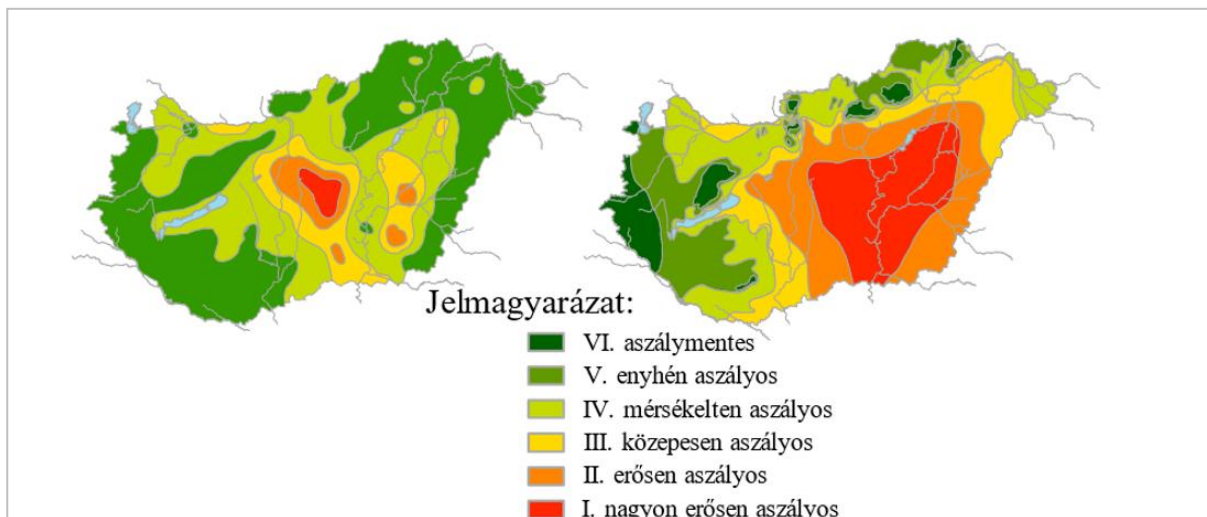
mezőgazdasági és hidrológiai aszályt, ezek a vízhiány relatív mértékében, időtartamában, térbeli kiterjedésében és az esemény lehetséges következményeiben térhetnek el.

Aszályok

Az évi országos átlagos csapadékmennyiség lényeges térbeli változatosságot mutat az Alföld középső térségének 500 mm/év alatti értékétől kezdődően az Alpokalja 850 mm/év feletti értékéig. Ez a térbeli eloszlás különbség az aszály index esetén is tükröződik. A Pálfai-féle aszályossági index (PAI) az adott tárgyév április-augusztus időszak átlagos hőmérsékletének és a megelőző év októberétől a tárgyév augusztusáig tartó súlyozott csapadék-összegének hányadosa (Pálfai 1990, 1991). Amennyiben

ez az érték meghaladja a 6,5-t, akkor erős aszályról beszélhetünk. A térképen (12. ábra) I-től VI-ig jelölték az aszályossági zónákat, a számuk növekedésével, csökken a veszélyeztetettségük aszály szempontjából. Az aszálymentes (VI.) kategória esetén $PAI\ 10\% \leq 5$, az enyhén aszályos (V.) kategória esetén $PAI\ 10\% = 5 - 6$, az 1983-as térképen ezt a két kategóriát együttesen tüntették fel. A mérsékelt aszályos (IV.) kategóriához $PAI\ 10\% = 6 - 7$, a

közepesen aszályos (III.) kategóriához $PAI\ 10\% = 7 - 8$, az erősen aszályos (II.) kategóriához a kategóriához $PAI\ 10\% = 8 - 9$, míg a nagyon erősen aszályos (I.) kategóriához a $PAI\ 10\% = 9 - 10$ tartozik. Magyarország legaszályosabb nagytája az Alföld, szinte teljes egészében az I. zóna része. Az aszályos területek alakulását mutatja a 12. ábra, 1983-ban és 2000-ben. Az aszályos területek kiterjedése az Alföldön és a Kisalföldön is növekedett.



12. ábra. A PAI aszályossági index értékeinek területi eloszlása Magyarországon 1983-ban és 2000-ben (OVF adatbázis)
 Figure 12. Territorial distribution of PAI drought index values in Hungary in 1983 and 2000 (OVF database)

A nagyon erősen aszályos övezet (I. zóna) megközelítőleg az ország területének 40%-át teszi ki, és ez a mezőgazdasági terület arányát tekintve az összterület 75%-a, vagyis kb. 28 000 km² (Pálfi 2004).

Az aszály előrejelzéssel kapcsolatos kutatások napjainkban is folynak. 2016-ban kezdődött meg az országos aszály monitoring rendszer kiépítése (Fiala és társai 2018). A megelőző kutatások eredményeképpen egy napi időlépéssel működő új aszályindex (HDI) került kifejlesztésre.

A napi aszályadatok lehetővé teszik az ár- és belvízhez hasonlóan az aszályhoz tartozó védekezési fokozatok meghatározását is, illetve az érintettek tájékoztatását.

A jelen tanulmányban bemutatott felmérés során külön rákérdeztünk, hogy a repedéssel összefüggő károsodás köthető-e árvízhez vagy szárazsághoz. A 2. táblázat tanúsága szerint az esetek körülbelül 1/4-ben (500 eset) a repedés megjelenése kapcsolható árvízhez. Az 500 esetből 361 esetet az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság szolgáltatott.

2. táblázat. A vízügyi igazgatóságok válasza arra, hogy a repedés megjelenése köthető-e árvízhez vagy szárazsághoz
 Table 2. Water Directorates answer whether the appearance of the crack is connected to flood or drought

Sorszama	Vízügyi igazgatóságok												Σ
	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	12.	
Rövidített neve	EDU	KDV	ADU	KDT	DD	NYUDU	FETI	EM	TI	KOTI	ATI	KO	
Kérdés: A repedés köthető-e árvízhez?													
Válaszok száma	563	29	361	59	86	60	259	130	186	152	29	73	1 987
Igen	0	0	361	0	0	0	0	1	0	65	9	64	500
Nem	563	29	0	59	86	60	259	127	186	81	5	9	1464
Nincs válasz, nincs adat	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6	15	0	23
Kérdés: A repedés köthető-e szárazsághoz?													
Válaszok száma	563	29	361	59	86	60	259	130	186	152	29	73	1 987
Igen	0	12	0	0	0	0	259	12	0	49	11	57	400
Nem	563	17	361	59	86	60	0	116	186	103	3	16	1 570
Nincs válasz, nincs adat	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	15	0	17

A válaszok nagyjából 1/5-ben (400 eset) úgy ítélték meg a vízügyi igazgatóságok, hogy a repedés köthető szárazsághoz is, ezek nagy része a tiszai vízügyi igazgatóságokhoz tartozik. A 400 esetből 259 esetet a Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóságnál dokumentáltak, náluk az összes károsodás kialakulásában valamilyen formában szerepet játszott a szárazság. A 12. ábrán látható, hogy a FETIVIZIG területe az 1983. évben enyhén aszályos (V.), 2000-ben nagyrészt közepesen aszályos volt (III.). Az aszályosodás különösen érinti az észak-alföldi régió ezen részét. Jelentős számú esetet jelentettek a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság és a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság területéről, melyek erősen (II.), illetve nagyon erősen (I.) aszályosak.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az árvízvédelmi töltések fokozottan ki vannak téve a környezeti hatásoknak, hiszen síkból kiemelt szerkezetek. A globális éghajlatváltozással összefüggő szélsőséges hidrometeorológiai folyamatok következtében a töltések vízháztartása több esetben felborulhat. Az árvízvédelmi töltés burkolata a víztartalom eloszlás változását kedvezőtlenül befolyásolja, az amúgy a töltés koronára jutó csapadék nem szívárog be, hanem lefolyik a rézsűn. Tehát a töltés burkolata a száradási folyamatokat felerősíti azáltal, hogy a nedvesség utánpótlást gátolja.

Azok a száradási repedések, amelyeket Nagy (1994) leírt árvízvédelmi töltések esetén, a változó talajokból épült töltéseknél fokozottan jelentkeztek, ezért a hossz- és keresztirányú repedéseket, amelyek térfogatváltozás hatását mutathatják élesen el kell különíteni a burkolat nem megfelelő alapozásától, a felület tönkremenetelétől vagy a nem megfelelő terheléstől. A töltésburkolat károsodásához vezető szerkezeti okokat a 11. ábrán foglaltuk össze, melyek közül fontos kiemelni a helytelen úthasználatot, a viszonylag új földmű konszolidációját és a térfogatváltozó talajok hatását.

A Tisza és mellékfolyóinak árvízvédelmi töltései nagyon sokszor térfogatváltozó (kötött) agyagokból épültek, ami miatt a tartósan vízhiányos időszakok után repedések jelentek meg rajtuk. Ezek a károsodások jelentősen csökkenthetik a gát állékonyságát, illetve védőképességét. Újranedvesedés hatására a kialakult repedések nem biztos, hogy bezárulnak.

Hasonló részletességű felmérés még nem készült hazánkban. Fontosnak tartottuk, hogy a területi különbségekre rávilágítsunk. A térfogatváltozó talajok következtében létrejövő töltésburkolat repedések a Tisza vidékére jellemzőek, míg az ország teljes területén jelentkező burkolat repedések mögött különböző okok húzódnak meg.

Kevés olyan repedést tártak fel a szakemberek, amelyek a töltés tengelyére merőlegesen és mélyen futottak, a párhuzamos repedések a gyakoribbak. A párhuzamos vagy merőleges repedések leképezik a dokumentált repedések több mint 75%-át (3. ábra). Fényképekkel alátámasztva mutattuk be a fontosabb repedés típusokat.

A burkolat felújítása nem oldja meg a töltés építési problémáit. A burkolat repedések csak indikátorai a töltésben lejátszódó folyamatoknak, mozgásoknak, ellenben nagyon jó indikátorai, sokkal jobbakként, mint a burkolatlan földmű felszíne. A töltésszakaszok teljes helyreállításáig is

folyamatosan nyomon kell követnünk a repedések alakulását, hiszen egy árvíznél ezek olyan folyamatokat indukálhatnak, amelyek a töltés tönkremeneteléhez, vagy akár gátszakadáshoz is vezethetnek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönettel tartoznak a vízügyi igazgatóságok munkatársainak a töltésburkolatok dokumentálásáért.

A tanulmány az Innovációs és Technológiai Minisztérium által, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott Kooperatív Doktori Ösztöndíj Program szakmai támogatásával készült.

IRODALOMJEGYZÉK

Bashir, R., Pk, S, Beddoe, R. (2020). Effect of climate change on earthen embankments in Southern Ontario, Canada. *Environmental Geotechnics*, 2. 1–22. doi:10.1680/jenge.18.00068.

Dafalla, M.A., Shamrani, M.A. (2011). Road Damage Due to Expansive Soils: Survey of the Phenomenon and Measures for Improvement. In: Design, Construction, Rehabilitation, and Maintenance of Bridges, GeoHunan International Conference, American Society of Civil Engineers, Hunan, China. 73–80. doi:10.1061/47630(409)10.

Dyer, M., Utili, S., Zielinski, M. (2009). Field survey of desiccation fissuring of flood embankments. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 3. pp. 221–232. doi:10.1680/wama.2009.162.3.221.

Fiala K., Barta K., Benyhe B., Fehérvári I., Lábdy J., Sipos G., Györfly L. (2018). Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer. *Hidrologiai Közlemények*, 98. évf. 3. szám. pp. 14–24.

Illés Zs., Nagy L., Antal Ö. (2021). Burkolt árvízvédelmi gátak repedései. *Magyar Hidrológiai Társaság XXXVIII. Országos Vándorgyűlése tanulmánykötete*, <https://vdt.uni-nke.hu/videtartar/38VGY/index.html>, (Letöltés dátuma: 2020. november 28.)

Jouben, A. J. (2014). A Case Study of Pavement Failures in Central Texas due to Expansive Soils. *The University of Texas at Austin, Austin, Texas*.

Kovács A., Nagy L., Begidsán A. (2020). Árvízvédelmi gát repedésének vizsgálata multielektrodás geoelektromos módszerrel. *Hidrologiai Közlemények*, 100. évf. 1. szám. pp. 54–60.

Lazányi I., Horváth G. (1997). Deterioration of flood protection dikes due to shrinkage cracking. *14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Hamburg. 351–357.

Mitchell, J. K. (1974). *Fundamentals of Soil Behavior*. 3rd ed. Wiley Publications, USA.

Nagy L. (1994). Árvízvédelmi töltések repedései. *Kárpát-medence vízkészlete és vízi környezetvédelme konferencia*. Magyar Hidrológiai Társaság (MHT), Eger, 1–10.

Nagy L. (2000). Az árvízvédelmi gátak geotechnikai problémái. *Vízügyi Közlemények*, 1. 121–146.

Nagy L. (2006). Dike breaches in the Carpathian basin. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2. 115–124.

Nagy L. (2010). 2009. évi töltésrepedések a Közép-Tisza gátjainál, *Magyar Hidrológiai Társaság XXVIII. Országos Vándorgyűlése*, 338–343.

Nagy L. (2019). Árvízvédelmi gátak burkolati repedés felmérése. Budapest University of Technology and Economics. Budapest, Hungary. 41.

Nagy L., Huszák T. (2012). Száradási repedések a Tiszba part 107+743 szelvényében. Magyar Hidrológiai Társaság XXX. Országos Vándorgyűlése.

Nagy L., Illés Zs. (2016). Árvízvédelmi töltések száradási repedései. ÉPKO 2016, 20th International conference on civil engineering and architecture. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT).

Nagy L., Kovács A., Varga M. (2008). Cracked Dikes Investigation with Geoelectrical Tomography 4th International Symposium on Flood Defence. Ontario, Canada. 152/1–9.

Országos Meteorológiai Szolgálat (2020). Meteorológiai aszály. http://www.met.hu/methu/honlap_ujdonsagok/index.php?id=2047&hir=Meteorologiai_aszaly, (Letöltés dátuma: 2020. november 28.)

Pálfai I. (1990). Description and forecasting of droughts in Hungary. Proceedings 14th International Congress on Irrigation and Drainage, Rio de Janeiro, Brazil., 151–158.

Pálfai I. (1991). Az 1990. évi aszály Magyarországon (The drought of 1990 in Hungary). Vízügyi Közlemények, 2. 117–132.

Pálfai I. (2004). Belvizek és Aszályok Magyarországon. Közlekedési Dokumentációs Kft. 2004.

Palmer, W. (1965). Meteorological drought. U.S. Research Paper. No. 45 US Weather Bureau. Washington, DC.

Stefanovits P., Dómbóvári L. (1985). A talajok agyagásvány-társulásainak térképe. Agrokémia és Talajtan, 3–4. 317–330.

Szepessy J. (1991). Árvízvédelmi gátak töltésének repedései - a kúszási repedés. Hidrológiai Közöny, 6. 321–331.

Tang, A.M., Hughes, P.N., Dijkstra, T.A., Askarinejad, A., Brenčić, M., Cui, Y.J., Diez, J.J., Firgi, T., Gajewska, B., Gentile, F., Gross, G.I., Jommi, C., Kehagia, F., Koda, E., ter Maat, H.W., Lenart, S., Lourenco, S., Oliveira, M., Osinski, P., Springman, S.M., Stirling, R., Goll, T.D., Van Beek, V. (2018). Atmosphere–vegetation–soil interactions in a climate change context; impact of changing conditions on engineered transport infrastructure slopes in Europe. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 2. 156–168. doi:10.1144/qjgh2017-103.

Vardon, P.J. (2015). Climatic influence on geotechnical infrastructure: a review. Environmental Geotechnics, 3. 166–174. doi:10.1680/envgeo.13.00055.

Zornberg, J.G., Gupta, R. (2009). Reinforcement of pavements over expansive clay subgrades. Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. 5. doi:10.3233/978-1-60750-031-5-765.

Zornberg, J.G., Roodi, G.H., Ferreira, J., Gupta, R. (2012). Monitoring Performance of Geosynthetic-Reinforced and Lime-Treated Low-Volume Roads under Traffic Loading and Environmental Conditions. GeoCongress 2012. American Society of Civil Engineers, Oakland, California, United States. 1310–1319. doi:10.1061/9780784412121.135.

A SZERZŐK



ILLÉS ZOMBOR 1993-ban született Budapesten. Gimnáziumi tanulmányait Budapesten és Glasgow-ban végezte. 2012-ben nyert felvételt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karára, ahol 2018-ban Szerkezet-építőmérnök szakirányon szerzett MSc diplomát. MSc tanulmányai alatt egy évet Campus Mundi Ösztöndíjjal és doktoranduszként további évet az Instituto Superior Técnico-n (IST, Técnico Lisboa) töltött. 2018 óta a Vásárhelyi Pál Doktori Iskola hallgatója, ahol témavezetője Nagy László. Fő kutatási területe a talajok térfogatváltozása, az árvízvédelmi töltések repedései.



NAGY LÁSZLÓ 1956-ban született Nyíregyházán, iskoláit Debrecenben végezte. Első diplomáját 1980-ban szerezte a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karán. Ugyanott 1984-ben szakmérnöki államvizsgát tett. Munkahelyei a vízügyi szakterülethez kapcsolódtak: Vízügyi Tervező Vállalat, Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ, Árvízvédelmi és Belvízvédelmi Központi Szervezet, Országos Vízügyi Főigazgatóság. 2003 óta a Műegyetemen oktat, kutat. 2006-ban megvédte PhD disszertációját, kilenc évvel később habilitált. 2015-ben a geotechnika és az árvízvédelem határterületén végzett munkásságáért a Magyar Köztársaság Érdemrend Lovagkereszt kitüntetését kapta. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja. 2016 májusától a Hidrológiai Közöny egyik szakszerkesztője.



ANTAL ÖRS Kolozsváron született 1985 decemberében, iskolai tanulmányait Budapesten végezte, majd 2005-ben érettségizett angol nyelven. Első diplomáját az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karán szerezte meg, majd katasztrófavédelmi mérnöki szakirányon végzett mesterszakot, valamint geoinformatikai szakmérnöki képesítést szerzett. PhD disszertációját 2018-ban védte meg. Tématerülete az árvíz- és földrengéskárok megelőzésének műszaki lehetőségei volt. 2015 júniusa óta az Országos Vízügyi Főigazgatóságon dolgozik, jelenleg a folyóüzemeltetési szakterület operatív feladatait irányítja.

A Duna lebegtetett hordaléktöménységének monitoringja fix telepítésű zavarosságmérő műszer alkalmazásával

Vas László Tamás

Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság, Vízrajzi Osztály, kiemelt műszaki referens (E-mail: vas.laszlo@aduvizig.hu)

Kivonat

A folyók hordalékszállításának megbízható mérése és számítása az operatív és nem operatív folyami monitoringfolyamatok szinte utolsó jelentősebb pontatlanságokkal tarkított szegmense. A jelenleg alkalmazott hordalékhozam-görbés ($G=f(Q)$) módszer a legtöbb esetben nem nyújt kellő pontosságú eredményt, a bizonytalanság akár 150%-os is lehet. Kísérleti jelleggel zavarosságregisztráción alapuló közvetett módszert tesztlünk, amely a part menti zavarosság és a szelvényen átáramló hordalékhozam közötti összefüggés keresésén alapul. A part menti zavarosságot fix telepítésű zavarosságmérővel regisztráljuk, míg a szelvényen átáramló hordalékhozamot hagyományos módszerekkel mérjük. A feldolgozás során elvégezzük a vett minták laboratóriumi feldolgozását, a lebegtetett hordalékhozam meghatározását, valamint az egyidejű mérések és mintavételek alapján a módszerek összehasonlítását. A kutatás során kapcsolatot állítunk fel a zavarosság és a lebegtetett hordaléktöménység, a sonda által mért zavarosság és a kézi zavarosságmérő által mért zavarosság, valamint a part menti hordaléktöménység és a szelvénymenti hordalékhozam között. A két módszerrel mért értékek jó egyezést mutatnak, de a közvetett módszer verifikálását szükségesnek tartjuk nagyobb adathalmazra kiterjeszteni.

Kulcsszavak

Duna, lebegtetett hordalék, zavarosság, hordalékhozam, monitoring.

Suspended sediment monitoring of the Danube with turbidity sensor

Abstract

Operative and nonoperative sediment monitoring may be the last uncertain part of the riverine monitoring processes. In most of the cases, the available suspended load rating curves are not adequate enough. The uncertainty of the results based on these rating curves could be 150%. An indirect method based on turbidity registration is tested in order to find a relationship between near-bank turbidity and the suspended sediment load flowing through the whole cross-section. The near-bank turbidity is registered by a fixed (to a pontoon) turbidity sensor, while the suspended sediment load is determined with traditional methods (discharge measurement, suspended sediment sampling, calculation). The necessary calculations and analyses were carried out after the measurements in order to find the relationships. Turbidity versus suspended sediment concentration, sensor turbidity versus turbidimeter turbidity, near-bank turbidity versus suspended sediment load relationships were found during the research. However, the results achieved are promising but the measurements have to be continued in order to refine the relationships.

Keywords

Danube, suspended sediment, turbidity, suspended sediment load, monitoring.

BEVEZETÉS

A folyók hordalékszálítási viszonyainak és hordalékház-tartásának ismerete elengedhetetlen a folyógazdálkodással foglalkozó szakemberek számára. A folyók mentén lévő hordaléknyilvántartó szelvényekben rendelkezésre álló adatok segítségével megfigyelhetőek az időbeli változások, a mellékágak és a hullámterek hatása a hordalékház-tartásra, ami lehetővé teszi a szelvények közötti lerakódás és kimosódás vizsgálatát. Fontosságát mutatja továbbá az is, hogy az elmúlt évtizedben számos neves intézmény (University of Natural Resources and Life Sciences, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Kar) vizsgálták a kérdéskört, számos projekt (SEDDON, DanubeSediment) keretében (Baranya és társai 2015, Habersack és társai 2019a, 2019b).

A hordalékszálítás törvényszerűségei régóta ismertek, azonban a gyors és hatékony mérési, pontos számítási vagy származtatási módszerek további fejlesztést igényelnek. A magyarországi gyakorlatban jelenleg egy folyó hordalékszálítási viszonyait egy adott szelvényben az aktuális szelvényre szerkesztett hordalékhozam-görbe írja le, amely a vízhozam függvényében adja meg a hordalékhozamot ($G=f(Q)$). A hordalékhozam görbét a vízhozamméréssel egyidőben történő lebegtetett hordalék-

mintavétel eredményei alapján lehet megszerkeszteni. Ezeknek a méréseknek az időbeli ütemezését az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) és a vízügyi igazgatóságok mérési terve szabályozza. A jelenlegi gyakorlat szerint évente 5 mérés történik, előre meghatározott időpontokban. A hidrológiai helyzet függvényében többletmérések kerülnek elvégzésre, így az egy évben elvégzett mérések száma egy szelvényben 5-10 mérés. A mérési eredményekre szerkesztett hordalékhozam görbével a hordalékszálítási viszonyokat csak közelítő módon lehet leírni. A görbe és a mért pontok, valamint a mért pontok közötti eltérés azonos vízhozam esetén jelentős: a Duna dunaújvárosi szelvényében például $\sim 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ vízhozamnál átáramolhat 80 kg és 250 kg lebegtetett hordalék is másodpercenként. A hordalékhozam görbe nem tudja figyelembe venni az árhullám során levonuló hordalék mennyiségének valószínűsíthető hurokgörbét. Nem lehet a görbével továbbá figyelembe venni egyéb, nem feltétlenül a folyómederben lejárló folyamatokat, amik hatással vannak a levonuló hordalék mennyiségére. A hordalék mennyisége függhet attól, hogy milyen eredetű (csapadék vagy hóolvadás) vagy melyik részvízgyűjtőből érkezik az árhullám. Számít természetesen az is, hogy milyen vízállással vonul le az árhullám, hiszen a magasabbak lerakódott iszapot moshatnak ki a mellékágakból vagy a hullám-

térről. Az árhullámok egymásutánisága szintén befolyásolhatja a vízhozam és a lebegtetett hordalékmennyiség kapcsolatát. Míg az első árhullám kimoshatja a mellékágakból az oda lerakódott iszapot, így növelve a főmeder hordaléktöménységét, addig a későbbi árhullámok ezt már nem tudják megtenni.

A hordalékhozam görbe által adott eredmények a fentiek miatt tehát jelentős bizonytalansággal terhelték. Szakmai szempontból szükséges ezért egy olyan módszer, amely a jelenleg alkalmazottnál gyorsabban szolgáltat megbízhatóbb adatokat, jobb időbeli felbontással. Nemzetközi szakirodalmakban számos jó gyakorlat található (*Habersack és társai 2013*), de fellelhető magyarországi példa is (*Kutai 2014, Pomázi és Baranya 2020*). A DanubeSediment projekt keretében számos publikáció készült, melyek alkalmazandó jó gyakorlatokat ajánlanak a Duna teljes szakaszára. A Dunán levonuló hordalék tömegének meghatározásához egy távjelzősített zavarosságmérésen alapuló, integrált módszert ajánlottak. A módszer lényege, hogy egy parthoz közel telepített szenzor folyamatosan regisztrálja a zavarosságot, melyet egy kalibrációs egyenlet segítségével át lehet számolni szenzor melletti hordaléktöménységgé. A parthoz közel, egy pontban regisztrált hordaléktöménységet egy ismételt kalibrációs egyenlet segítségével át lehet számítani szelvény középtöménységgé. A szelvény középtöménységet szorozva a vízhozammal számítható az egész szelvényen átáramló hordalékhozam, melyet időben integrálva megkapható a levonult hordalék tömege (*Habersack és társai 2018a*). Az ajánlott módszer sikeres alkalmazására van nemzetközi és hazai példa is. A University of Natural Resources and Life Sciences (Bécsi Agrártudományi Egyetem, Ausztria) munkatársai sikeresen állították fel a többlépcsős kapcsolatot a partmenti zavarosság és a szelvény középtöménysége között (*Habersack és társai 2013*). Magyarországon a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem munkatársai szintén sikerrel alkalmazták a módszert. A Duna sződligeti és ráckevei szakaszán (1674 fkm, 1604 fkm) állították fel kapcsolatot a part mentén mért lebegtetett hordaléktöménység és a szelvény menti hordalékhozam között (*Pomázi és Baranya 2020*). Az ajánlott módszer folyamatábrája az 1. ábrán látható.



1. ábra. Lebegtetett hordalékhozam meghatározása zavarosság alapján (*Habersack és társai 2019b, a szerző fordítása*)
Figure 1. Determination of the suspended sediment load based on turbidity (*Habersack et al 2019b, translated by the author*)

TERMINOLÓGIA

Száranyag-tartalom: a tetszőleges térfogatú vízmin-tában lévő száranyag tömege [mg, g].

Hordaléktöménység: a hordalék víz térfogategységre vonatkoztatott tömege [mg/l, kg/m³].

Hordalékhozam: a folyó kiválasztott kereszt-szelvény időegység alatt áthaladó hordalék tömege [kg/s, t/év].

Zavarosság: a víz csökkent átlátszósága, melyet a benne lévő részecskék a rajta áthaladó fény szétszórásával és elnyelésével okoznak [NTU, FTU, FNU].

SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A hazai és nemzetközi szakirodalmakat áttekintve a lebegtetett hordalékmintavételi módszerek az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- közvetlen módszerek
 - o pillanatnyi
 - o szivattyús
 - o izokinetikus
- közvetett módszerek
 - o zavarosság-méréssel
 - o lézerdiffrakcióval
 - o nyomáskülönbséggel
 - o akusztikus módszerrel

A mintavételi módszerek közül csak a vizsgálat szempontjából relevánsak (közvetlen szivattyúval és a közvetett zavarosság-méréssel) kerülnek röviden bemutatásra. A módszerek részletesebb bemutatását Pomázi és társai meg-tették 2020-as közleményükben (*Pomázi és társai 2020*).

A szivattyús mintavétel során a mintát szivattyú segítségével hozzák a felszínre. A nemzetközi szakirodalomban a szivattyús mintavétel alatt értik azt is, amikor a monitoringállomáson a mintavételt a beépített szivattyú ki-épített szerelvényezésen keresztül, automatikusan veszi meg. A magyar szakirodalomban a szivattyús mintavétel során a szivattyú szívócsővének végét leeresztik a minta-vételi pontba és felszívják a szükséges térfogatú mintát. A szivattyús módszer hátránya, hogy amennyiben a mintavé-teli sebesség nem egyezik meg a pontban lévő vízsebes-séggel, úgy a megvett minta hordaléktöménysége sem fog. A relatív mintavételi arány (mintavételi sebesség/vízse-besség) függvényében a töménységbeli eltérés -20+60% is lehet. Eltérést eredményez továbbá az is, ha a szívócső vége nem párhuzamos a folyásiránnyal, hanem azzal vala-milyen szöget zár be. A különböző paraméterek eltérésé-nek hatásait az Iowa Egyetemen vizsgálták és publikálták (*Iowa University 1941*).

A közvetlen módszerek a mintavételi függvények száma szerint tovább bonthatók, a szakirodalmak megkülönböz-tetnek egyfüggélyes, illetve többfüggélyes módszereket. Az egyfüggélyes módszernél a függély helyét műszaki megfontolás alapján kijelölik (középen, legnagyobb mély-ségben) és a mintavevőt a kiválasztott függélyben folya-matos mintavétel mellett le-, majd felengedik. A többfüggélyes módszerek közül a nemzetközi szakiroda-lom három ajánl: mintavétel azonos vízhozamú lamellák-ban, azonos szélességű lamellákban, illetve azonos terü-letű lamellákban. A mintavétel hasonló módon történik a többfüggélyes módszereknél, mint az egyfüggélyes mód-szernél (azonos sebességgel történő mozgatás), eltérés a

függvények számában van. Az azonos vízhozamú lamellák módszerénél 4-9 függvényben, az azonos szélességű lamellák módszerénél legalább 10 függvényben kell függvény átlagmintát venni. A lebegtetett hordalék mintavételre vonatkozó magyar szabályozás (*ME-10-231-20:2009: Felszíni vizek lebegtetett hordalékának mérése szivattyús vízmintavevővel*) olyan többfüggvényes módszert ír elő, ahol a lamellák egyenlő szélességűek, azonban az átlagmintát nem folyamatos le-és felengedéssel kell megvenni. A hazai gyakorlatban a függvény átlagmintát úgy kell előállítani, hogy a függvényben 10, egyenletesen kiosztott mélységben kell 1-1 liter mintát venni, majd ezt összeöntve képezni a 10 liter térfogatú függvény átlagmintát. A Duna esetében a Műszaki Előírás 7 mintavételi függvényt ír elő (*Gray és Landers 2014, ME-10-231-20:2009*).

A hordaléktöménységet közvetett módon zavarosság-méréssel is lehet mérni. A víz zavarossága annak csökkent átlátszóságát fejezi ki, amit a vízben lévő részecskék a vízben áthaladó fénysugarak szórásával vagy elnyelésével okoznak. A napi használatban elterjedt zavarosságmérő műszerek a nefelometria törvényszerűségein alapulnak (nefelometerek). A nefelometriás mérés során a fény 90°-os szóródását mérik látható vagy infravörös tartományban. Az optikai visszaverődést mérő készülékek infravörös tartományban mérik a 140-165°-ban szórt fénysugarakat. Az ilyen készülékek alkalmasak kis térfogatú minta (néhány cm³) elemzésére is. A fény szóródása függ a mintában lévő részecskék méretétől, színétől, a törésmutatótól és a részecskék alakjától (*Sutherland és társai 2000*). Előnye ennek a módszernek, hogy beépíthető és automatizálható, ami nagyban növeli az adatok időbeli felbontását. A módszer hátránya, hogy a zavarosság függ a hordalék méretétől, összetételétől, színétől és formájától. A beépítés hátránya, hogy a pontosságot a szondán való biofilmpépződés nagymértékben csökkenteni tudja, ezért gondoskodni kell a folyamatos tisztántartásról. Közvetett módszer lévén a zavarosság hordaléktöménységgé való átszámításához kalibráció szükséges.

A fentiekre összegezként elmondható, hogy a közvetlen módszerek során adat csak akkor keletkezik, ha a mintavevő csoport fizikailag jelen van a helyszínen, megveszi a mintákat és elvégzi a szükséges laborálási és feldolgozási munkákat. A közvetlen módszerekkel szerzett adatok időbeli felbontása nem lehet teljesen alacsony, függnek a rendelkezésre álló emberi erőforrástól és a mérési körülményektől. A közvetett módszerek valamely fizikai összefüggés használatán nyugszanak, így mindegyikhez szükséges a mért és a keresett paraméter közötti kalibráció. A kalibráció felállításáig fokozott számú mintavételezés szükséges, utána elegendő expedíciós jellegű mintavétellel ellenőrizni a felállított kalibráció helyességét. A közvetett módszerek nem adnak a teljes keresztmetszvényre jellemző információt, csak pontbélit, mely információk keresztmetszvénymenti kiterjesztéséhez külön kalibráció szükséges. Előnye ezeknek a módszereknek, hogy távjelzősíthetőek, ezért helyszíni jelenlét nélkül, szinte tetszőleges időbeli felbontásban tudnak adatot szolgáltatni.

Dolgozatunk célja a DanubeSediment projekt keretében ajánlott és Ausztriában, valamint Magyarországon is sikeresen használt, távjelzősíthett zavarosság-mérésen alapuló integrált módszer alkalmazhatóságának vizsgálata a Duna magyarországi szakaszán, különös tekintettel a bajai szelvényre. Az ajánlott módszert kismértékben módosítottuk, az alkalmazott módszertant a következőkben mutatjuk be.

ALKALMAZOTT MÓDSZEREK, MÉRÉSI TECHNOLÓGIÁK

Lebegtetett hordalék-mintavétel

A lebegtetett hordalék mintavételét a vonatkozó hatályos műszaki előírás szerint végezzük (*ME-10-231-20:2009*). A műszaki előírás szerinti módszer a nyíltfelszíni vízfolyások lebegtetett hordalékhozamának alkalmankénti, de legfeljebb napi 1-2 alkalommal történő mérésére alkalmazható (csónakból vagy hídról). A módszer akkor alkalmazható, ha a legnagyobb függvény közepesbesség nem haladja meg az 1,8 m/s-ot, illetve, ha a vízmélység minden mintavételi pontban nagyobb, mint 1 m (*ME-10-231-20:2009*).

A mintavétel vízhozamméréssel együtt történik, ezért azt egy, legalább 4 átkelésel végrehajtott, Doppler-elvű (ADCP) műszerrel történő vízhozammérés előzi meg a vonatkozó műszaki előírás szerint (*ME-10-231-17:2009 Felszíni vizek vízhozamának mérése ADCP berendezéssel*). A vízhozammérést követően a mérőcsoport elvégzi a lebegtetett hordalékmintavételt. A dunai hordalékmérési szelvények esetében a mintavétel 7, közelítőleg azonos szélességű függvényben történik, függvényenként 10 pontban, a vonatkozó műszaki előírás szerint (*ME-10-231-20:2009*). A mintázás során függvény-átlagmintát veszünk: a függvény mentén 10, egyenletesen elosztott mélységű pontból mintavevő szivattyúval kiemelünk 1 liter mintát. Az egy függvényhez tartozó minták egy tárolóba kerülnek, így a 10 minta egybeöntve adja a függvény átlagmintáját (*ME-10-231-19:2009, ME-10-231-20:2009*).

Laboratóriumi vizsgálatok

A mérés után a mintákat egy napig fény- és fagymentes helyen tároljuk. A rövid tárolás után kézi zavarosságmérővel megmérjük a minták zavarosságát. A zavarosság méréséhez Hach 2100QIS kézi zavarosságmérőt használunk, amely a zavarosságot az EPA 180.1 szabvány alapján határozza meg. A műszer a mintán át bocsájtott fény 90°-os szóródását méri nefelometriás zavarossági egységben (NTU – Nephelometric Turbidity Unit). A zavarosságmérő a 15 ml-es minta zavarosságát 0 – 1 000 NTU közötti tartományban képes megmérni. A műszer megfelelő működése a 6 részből álló, ismert zavarosságú standardsorozattal rendszeresen ellenőrizhető, szükség esetén ugyanezzel a sorozattal egyszerűen kalibrálható. A zavarosság-mérés során a jól felkevert függvény átlagmintából kisebb edénnyel mintát veszünk, majd ezzel feltöltjük a műszer küvetáját. A küvetát annak megtisztítása után ismét fel kell rázni, majd behelyezni a műszerbe és elindítani a mérést. A zavarosság meghatározását mintánként háromszor végezzük el, mindig új mintát véve a felkevert függvény átlagmintából. Amennyiben a három mérés között van az átlagostól jelentősen eltérő eredmény, azt kizárva végzünk egy pótmérést. A függvény átlagminta zavarossága a három mérési eredmény átlaga lesz.

A zavarosság mérés után a hordalékmintákat leüleptítjük, ~ 1 literre leszívjuk és laboratóriumba küldjük, ahol meghatározzák szárazanyag-tartalmukat és szemeloszlási görbéjüket (a szemeloszlási adatok jelen tanulmányunk szempontjából irrelevánsak). A laboratóriumi feldolgozás módját az ME-10-231-19:2009 (Felszíni vizek lebegtetett hordalékának mérése palackos mintavétellel) műszaki előírás szabályozza. Az előírás szerint a minták szárazanyag-tartalmát leparlószásban történő szárítással, a szemeloszlását hengeres üleptetőberendezéssel kell meghatározni.

A szárazanyag-tartalom meghatározásához az 1 literes palackban lévő vízminőt le kell üleptíteni, majd a megtisztult vizet (az alján lévő kiülepedett hordalék felkavarása nélkül) le kell szívni. A maradék mintát leparlószásba kell önteni és szárítószekrényben tömegállandóságig szárítani, majd meghatározni a hordalék tömegét. A visszamért tömeget leosztva a vett minta térfogatával megkapható a függély átlagtöménysége. A szárazanyag-tartalom meghatározásához a leparlószás helyett lehet használni szűrőpapírt is.

Lebegtetett hordalékhozam számítása

A hordalékhozam számításának alapegyenlete:

$$G = \sum_{i=1}^n q_i * c_i$$

Ahol:

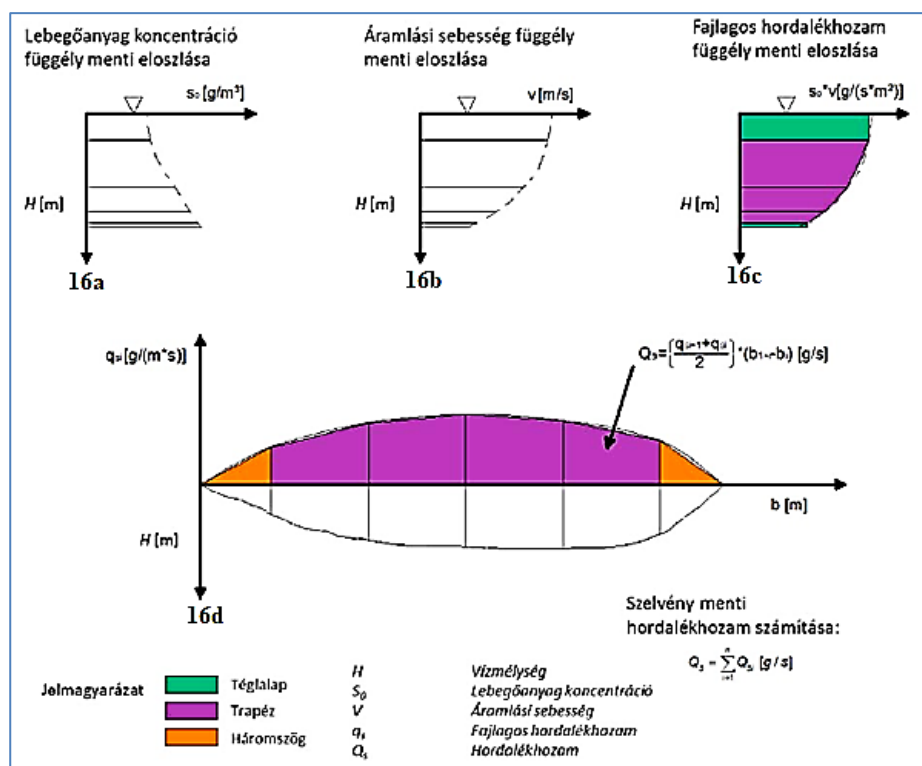
G – szelvény lebegtetett hordalékhozama [g/s]

n – hordalékmintavételi függélyek száma [db]

q_i – hordalékmintavételi lamella részvízhozama [m³/s]

c_i – hordalékmintavételi függély hordaléktöménysége [g/m³]

A számítás során elő kell állítani a hordalék mintavételi függélyek lamelláit (függélyhez tartozó mederszélesség). Egy hordalékmérési lamella több vízhozammérési lamellából áll, ezért a hordalékmintavételi lamella részvízhozama az abban lévő vízhozammérési lamellák részvízhozamainak összege. A vízhozammérési lamellákban a vízhozam a lamellák átlagsebességének és területének szorzata. A hordalékmérési lamella részvízhozamának és a hordalékmintavételi függély hordaléktöménységének szorzata megadja a lamella hordalékhozamát. Lamellánként összegezve a hordalékhozamokat megkapható a kereszt-szelvény lebegtetett hordalékhozama (VMS 251/8-81).



2. ábra. Lebegtetett hordalékhozam számítása (Haimann és társai 2014a, in: Pomázi és társai 2020)
 Figure 2. Calculation of the suspended sediment load (Haimann et al 2014a, in: Pomázi et al 2020)

A számítást számítógéppel (HOZAM2 programban) egyszerűen el lehet végezni. Az ADCP-s vízhozammérési fájl a szoftverbe be lehet olvasni, amit az átkonvertál függély átlagsebességekké. Megadva a hordalékmintavételi függélyek helyét és hordaléktöménységét a program a fenti módszerrel elvégzi a szükséges számításokat.

Zavarosság regisztrálása

A zavarosság folyamatos észlelésére OTT Hydrolab HL7 multiparaméteres szondát használunk. A szonda által mért paraméterek a beszerzésekor választhatóak, a gyártó

összesen 13 szenzort kínál a szondához. Az általunk üzemeltetett szonda zavarosságot, α -klorofilt, valamint víz-hőmérsékletet mér. Az alkalmazott zavarosságmérő szenzor 0-3 000 NTU tartományban képes mérni a zavarosságot. A mérést ISO 7027 szabvány szerint végzi, 880 nm hullámhosszú (infravörös) fény segítségével. Mivel az optikai zavarosságmérők mérési pontosságát a szenzoron kialakuló biofilm jelentősen rontja, ezért a szonda egy központi kefével van felszerelve, amely a műszert folyamatosan tisztán tartja.

A zavarosságmérő szonda és a kézi zavarosságmérő működése a használt szabvány alapján eltérő. A szonda az ISO 7027 szabvány szerint az infravörös fény optikai visszaverődését méri, míg a kézi zavarosságmérő az

EPA 180.1 szabvány szerint 90°-os szóródást. Különbözik továbbá az elemzett minta is, míg a zavarosságmérő szonda in-situ, addig a kézi zavarosságmérő többször zavart mintát eleméz.



1. kép. Hydrolab HL7 (védőkupak eltávolítva, szerző fényképe)
Photo 1. Hydrolab HL7 (without the probe guard, author's photo)

A multiparaméteres szondát távjelző állomásként építettük ki. Az állomás a Duna bajai szakaszára van telepítve, a folyam ~1479,6 fkm szelvényében, a bal parton lévő úszó pontonra. A védőcsőből és a műszerdobozból álló tartószerkezet a ponton alvízi részére van felfogatva. Az úszótestre való elhelyezés biztosítja, hogy a mérési pont mindig ~1,5 m mélységben legyen. Az alvízi elhelyezés nagyobb védelmet biztosít a Dunán érkező uszadéktól, amely a kanyarulati viszonyok miatt valós veszélyt jelent. A szonda a pontonra erősített védőcső alján lévő védőkosárban helyezkedik el. Az állomás szondából, adatgyűjtőből, kiegészítő elektronikából és a tartószerkezetből áll. A folyamatos energiaellátásról napelem és pufferakkumulátor gondoskodik. A szonda a paramétereket óránként méri és küldi a műszerdobozban elhelyezett adatgyűjtő felé, amely továbbítja az adatokat az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (ADUVIZIG) távmérő központjába, ahol a mért adatok minimális késéssel láthatóak. Az eszközök alacsony energiafogyasztásának köszönhetően az 50W-os napelem és a 22 Ah-ás pufferakkumulátorral problémamentesen látja el a rendszert energiával.

A szonda által mért zavarosságot a hidrológiai helyzet függvényében, szinte minden árhullámkor összehasonlító mérésekkel ellenőrizzük. A rendszeres ellenőrzés során mintát veszünk a szonda mellől, majd a vett minta zavarosságát kézi zavarosságmérővel, az „alkalmazott módszerek és mérési technológiák, laborálás” pontjában ismertettek szerint megmérjük.

Kampányszerű összeméréssel ellenőrizzük a klorofillszenzor megfelelő működését is. Az alkalmankénti mintavételek során ellenőrizzük a klorofiltartalom és vízhőmérséklet megfelelő regisztrálását, valamint további kémiai paramétereket is mérünk (pH, fajlagos vezetőképesség, oldottoxigén-tartalom és telítettség). Ezek a paraméterek vizsgálatunk szempontjából nem releváns célből kerülnek mérésre és ellenőrzésre.

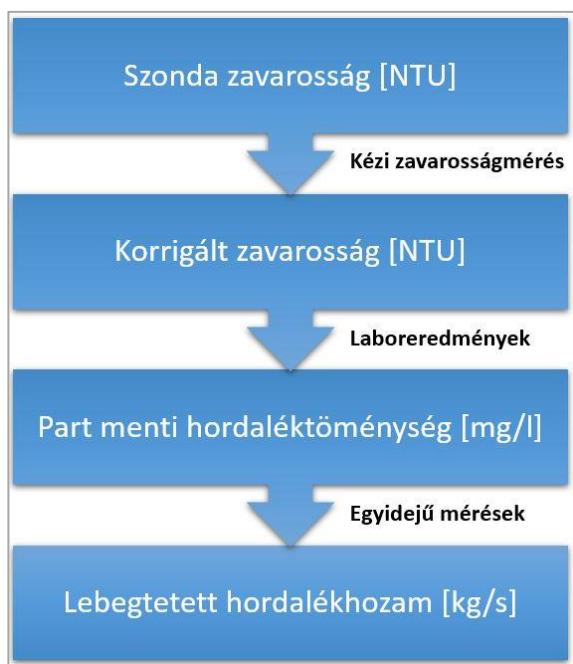
Alkalmazott módszer összefoglalása

Az általunk alkalmazott módszer során a telepített szonda által regisztrált zavarosságokat a kézi zavarosságmérővel történt ellenőrző mérések alapján korrigáltuk. A rendelkezésre álló kézi zavarosság és a hordaléktöménység közötti megbízható kapcsolat alapján a korrigált zava-

rosságot átszámítottuk part menti lebegtetett hordaléktöménységgé. Az egyidejű lebegtetett hordalékmérések és part menti zavarosságmérések alapján felállított összefüggések segítségével a part menti hordaléktöménység alapján számítottuk a szelvény menti hordalékhozamot. Az alkalmazott módszer folyamatábrája a 3. ábrán látható.



2. kép. Távjelzős zavarosságmérő állomás
(Duna, 1479,6 fkm, bal part, szerző fényképe)
Photo 2. Automatic turbidity monitoring station (Danube,
1479,6 rkm, left bank, author's photo)



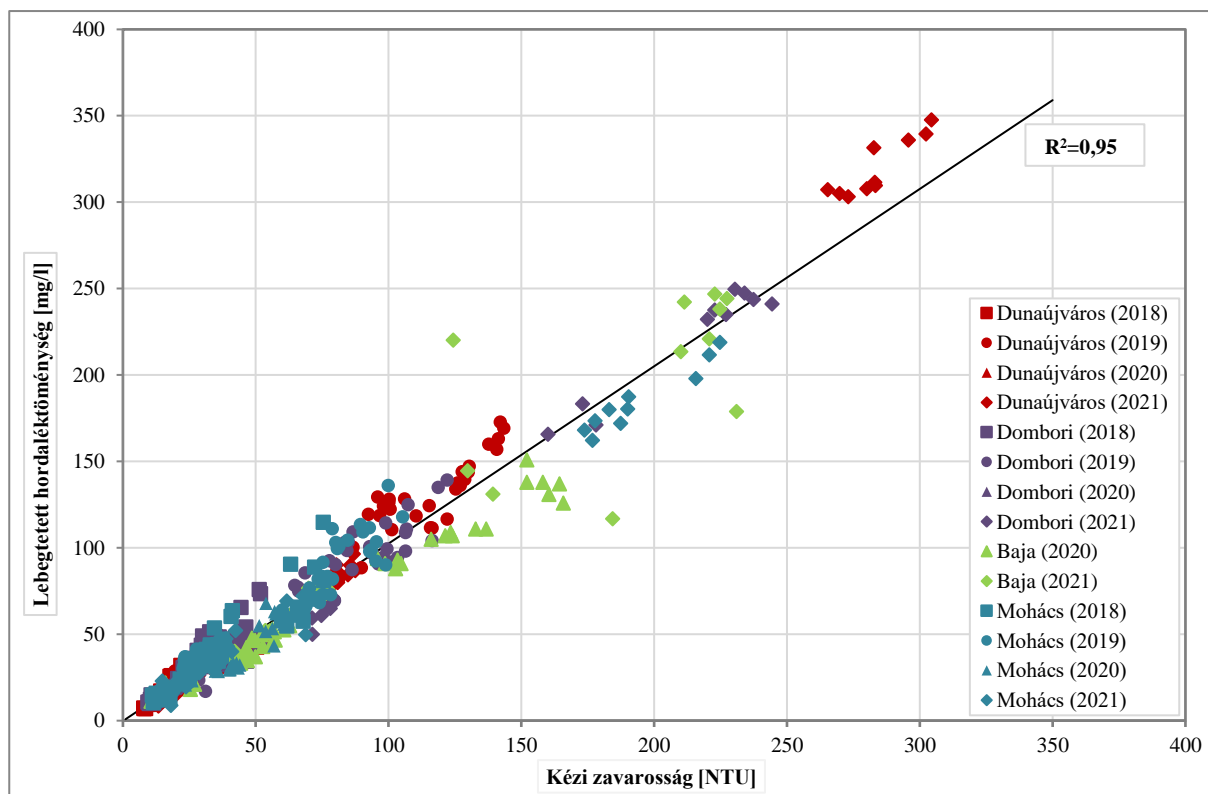
3. ábra. A zavarosság és a lebegtetett hordalék koncentráció összefüggése állomásonkénti és évenkénti bontásban
Figure 3. Determination of the suspended sediment load based on turbidity – the applied method

EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

Zavarosság-lebegtetett hordaléktöménység összefüggés

Első lépésben azt vizsgáltuk, hogy a dunai minták kézi zavarosságmérővel mért zavarossága összefüggésben van-e a labor által adott hordaléktöménységgel. A vizsgálat célja a lebegtetett hordaléktöménység meghatározásának idő- és költséghatékonyabbá tétele. A helyszínen elvégezhető zavarosságméréssel kiváltható vagy ellenőrizhető a laboratóriumi elemzés.

A zavarosság és a lebegtetett hordaléktöménység összefüggésének vizsgálatához a Duna folyam Dunaujváros alatti szakaszán található hordalékmérő állomásainak (Dunaujváros, Dombori, Mohács), valamint a bajai állomás adatait használtuk fel. Az előbbi három rendszeres hordalékmérő (ún. hordaléknyilvántartó) állomás, az utóbbin pedig expedíciós jelleggel végzünk lebegtetett hordalékmintázást. A hordalék-minták zavarosságának kézi zavarosságmérővel való mérését 2018-ban kezdtük a hordaléknyilvántartó állomásokon, majd 2020-ban a bajai expedíciós állomáson. A vizsgált időszak a rendelkezésre álló négy teljes év, azaz a 2018-2021-es időszak. A négy év alatt körülbelül 1 000 mintán végeztük el az összehasonlítást. Az elemzést az összes hordaléknyilvántartó állomás minden adatára elvégeztük összesítve, illetve állomásonkénti és évenkénti bontásban is. A részletesen bontott adatsorok alapján készítettük a 4. ábrát.



4. ábra. Kézi zavarosság-töménység összefüggés állomásonkénti és évenkénti bontásban
Figure 4. Turbidity versus suspended sediment concentration relationship grouped by years and locations

A részletező diagramot vizsgálva megfigyelhető, hogy sem a kisvízi (5-50 mg/l hordaléktöménység) tartományban, sem a közép-és nagyvízi tartományban (50-350 mg/l hordaléktöménység) nincs számottevő különbség az állomásokra külön szerkesztett regressziós egyenes és az összesített adatokra szerkesztett regressziós egyenes között.

Ezeket figyelembe véve megállapítható, hogy lehetséges a négy állomás eredményeinek együttes használata.

A kapcsolat szorosságát kifejező determinációs együttható (R^2) az egyes görbékre 0,92-0,99 között alakul, az összesítő görbére pedig 0,95. Kijelenthető tehát, hogy a kézi zavarosságmérővel mért zavarosság és a lebegtetett

hordaléktöménység között statisztikailag nagyon erős kapcsolat van. A kézi zavarosságmérővel mért zavarosságot tehát megbízhatóan át lehet számolni lebegtetett hordaléktöménységgé.

Megvizsgáltuk a mért hordaléktöménység függvényében a kapcsolat alapján a zavarosságból visszszámított hordaléktöménységeket. Alacsonyabb töménységtartományban a kisebb abszolút hiba is nagyobb relatív eltérést

eredményez. A magasabb töménységtartomány felé haladva nő a számítás abszolút hibája, azonban ezek relatív értelemben kisebb eltérést eredményeznek. A 150-200 mg/l feletti töménységtartományban a nagyobb abszolút eltéréseket a szállított nagyobb átmérőjű lebegtetett hordalékszempcek gyorsabb ülepedése okozhatja. Ebben a tartományban a kézi zavarosságmérő által elemzett kis térfogatú, többször bolygatott minta kevésbé reprezentatív. A hibaszámítás eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Töménységszámítás bizonytalansága
Table 1. Uncertainty of the calculation of the concentration

Mért töménység	Visszaszámítás hibája	Visszaszámítás hibája
[mg/l]	[%]	[mg/l]
0-50	14	4
51-100	12	9
101-150	17	21
151-200	9	16
201-	7	19

Távjelzett zavarosságok pontossága

A további számítások elvégzése előtt megvizsgáltuk a szonda által regisztrált értékek megfelelőségét. A felhasználói tájékoztató alapján a szondát az első használat előtt, továbbá rendszeres időközönként kalibrálni szükséges. A kalibráló standard sorozat 7 mintából áll (0,1-4 000 NTU), amelyből a Dunán legalább 5 szükséges (0,1-1 000 NTU).

A szondát tehát a mérési pontosságának javítása céljából kalibrálni szükséges. A kalibrálószorozat nélkül a szonda mérési pontosságának nyomon követésére és javítására a szonda mellől rendszeresen vízmintát veszünk, és kézi zavarosságmérővel megmérjük a vett minta zavarosságát. Egy minta zavarosságát háromszor mérjük meg, valamint kétszer veszünk mintát a szonda mellől.

A telepítés óta 28 ellenőrző mérést végeztünk, melyek közül 23 esetben történt zavarosságösszehasonlítás. A mérési eredmények alapján az látható, hogy 50 NTU kézi zavarosság alatt a szonda a kézi zavarosság 50-125%-át méri. Az 50 NTU zavarosság alatti tartomány kisvízes, lebegtetett hordalékban szegény, így ebben a tartományban a nagyobb hiba abszolút értelemben nem fog jelentős eltérést okozni. Az 50 NTU feletti tartományban a szonda a kézi zavarosságnak rendre a 60-90%-át méri. A kézi zavarosságmérő és a szonda által mért zavarosságok közötti különbség egyrészt az alkalmazott módszerek közötti eltérésekből, másrészt abból adódhat, hogy a szonda in-situ eszköz, míg a kézi zavarosságmérő kis térfogatú, többször zavart mintát elemz.

Az 5. ábrán a kézi zavarosságmérővel mért zavarosságot ábrázoltuk a szonda által mért zavarosság függvényében. A fentieknek megfelelően megfigyelhető, hogy az összehasonlító méréseket reprezentáló pontok az 1:1 egyenestől felfelé helyezkednek el, továbbá az is, hogy azok egy egyenes körül szóródnak. A mérési pontokra illesztett regressziós egyenes determinációs együtthatója 0,97, amely statisztikailag nagyon erős kapcsolatot fejez ki.

A szonda által mért zavarosságot az illesztett egyenes egyenlete alapján át lehet számolni kézi zavarosságértékre, amely kézi zavarosság és a hordaléktöménység között már rendelkezésre áll kapcsolat és egyenlet. Így a szonda által mért zavarosságot két lépcsőben át lehet számítani a szonda melletti (partmenti) hordaléktöménységgé.

Idősorok vizsgálata

A regisztrált vízállás és a regisztrált zavarosság közötti összefüggés keresése érdekében megvizsgáltuk azok kapcsolatát idősorosan, valamint a regisztrált zavarosságot a vízállás függvényében is. A vizsgálatokat a 2. táblázatban közölt árhullámoknál végeztük el. A feltüntetett tetőző vízállások és vízhozamok a bajai vízmércére vonatkoznak.

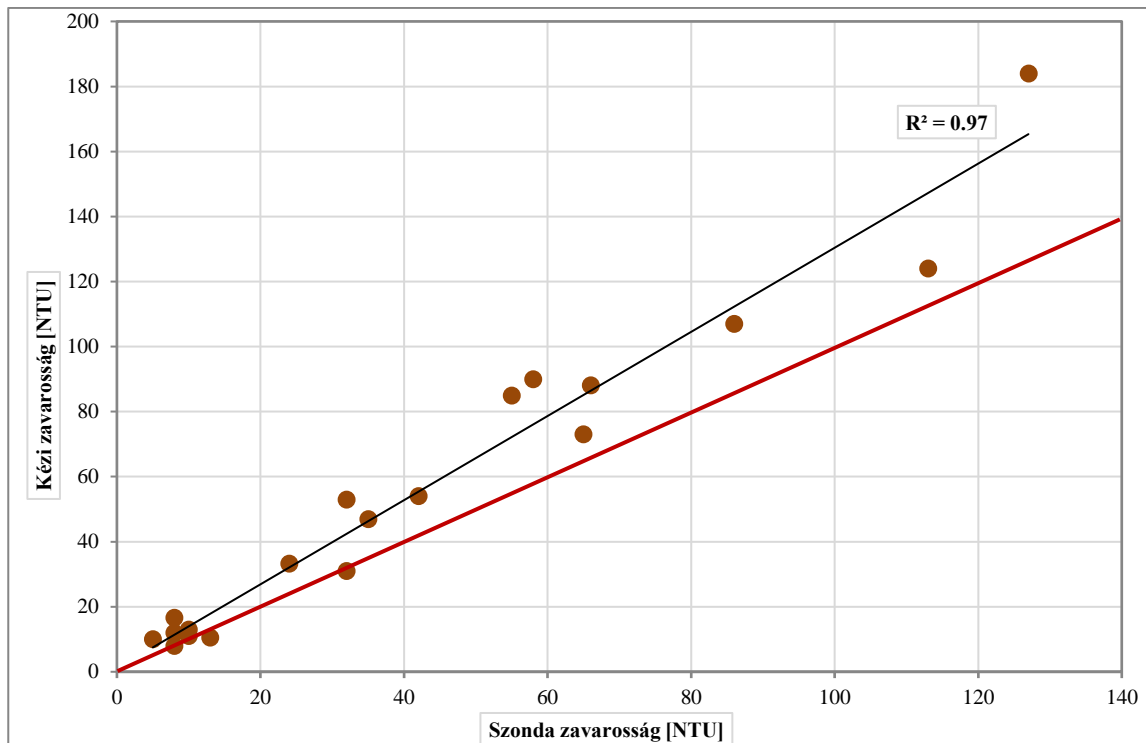
2. táblázat. Vizsgált árhullámok
Table 2. Analysed floods

Időszak	Kategoría	Tetőző vízállás	Tetőző vízhozam
		[cm]	[m ³ /s]
2020. február	nagy	639	4 450
2020. június- július	nagy	574	4 000
2020. június- július	közepes	483	3 350
2020. június- július	közepes	400	2 800
2021. július-szeptember	nagy	668	4 700
2021. július-szeptember	nagy	540	3 750
2021. július-szeptember	közepes	496	3 450
2021. július-szeptember	közepes	397	2 800

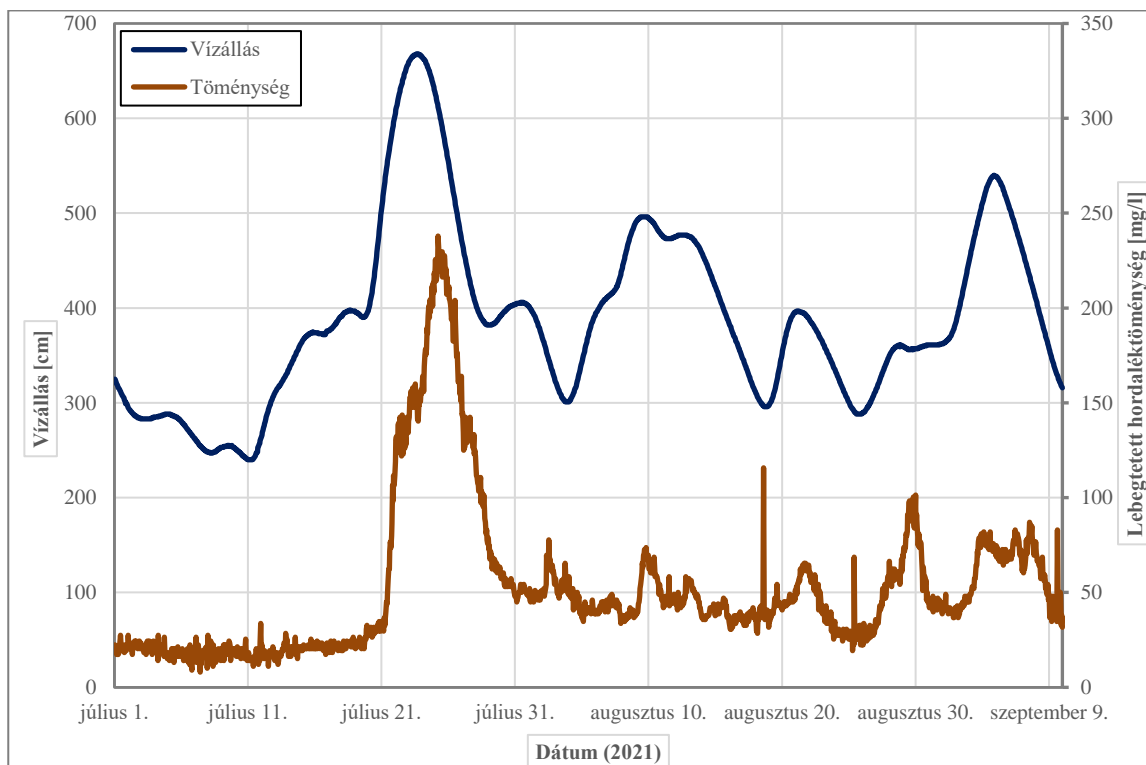
A vízállás-hordaléktöménység idősor, valamint a tetőző vízállások és a hordaléktöménység vizsgálatából több következtetés vonható le. Feltételezhető a hordaléktöménység (a vízhozamhoz hasonlóan), a vízszint után való tetőzése. Az idősorokat vizsgálva megfigyelhető, hogy a vízállás és a hordaléktöménység nem mindig ugyanabban az időpontban tetőzik, a vízállás apadóági tetőzésén túl azonban előfordul áradóági vagy egyidőben való tetőzés

is. A tetőző vízállások és a hordaléktöménységek összehasonlításánál megállapítható, hogy az azonos vízállással tetőző árhullámok nem azonos hordaléktöménységgel tetőznek. A tetőző értékek részletesebb összehasonlításakor az is megfigyelhető, hogy azok nem követik konzekvensen egymást: 400 cm-es tetőző vízálláshoz 61 mg/l tetőző töménység tartozott,

a két héttel későbbi árhullám során 350 cm-es tetőző vízállás mellett az előzőnél több, 102 mg/l volt a tetőző töménység. A megvizsgált árhullámok között található továbbá olyan, ahol az árhullám teljes időtartama alatt nem növekedett a töménység. A 6. ábrán a 2021. július-szeptember havi vizsgált árhullámok vízállás- és töménység-idősorai láthatóak.



5. ábra. Szonda által mért zavarosság – Kézi mért mérővel mért zavarosság összefüggés
 Figure 5. Turbidity measured by the probe versus turbidity measured with manual turbidimeter



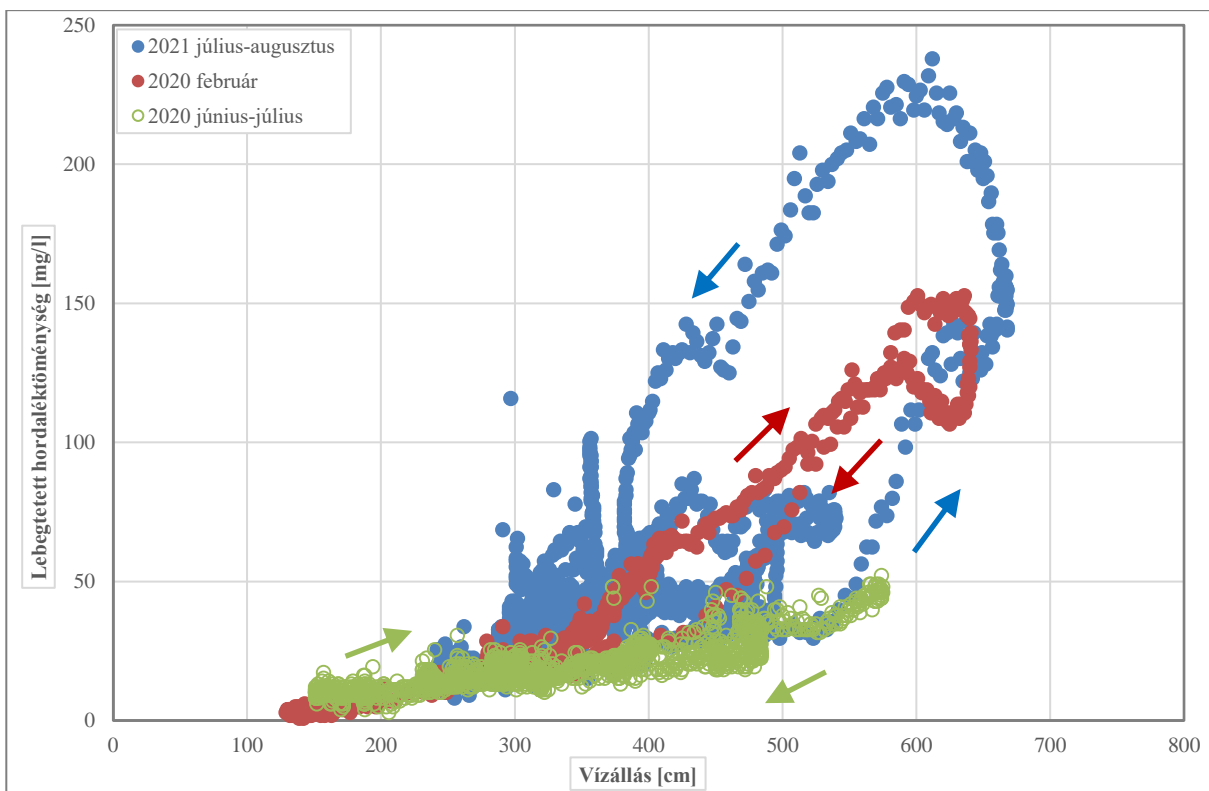
6. ábra. Vízállás és hordaléktöménység idősor
 Figure 6. Stage and suspended sediment concentration time series

Az egyidejű vizsgálatokból és a fentiek alapján megállapítható, hogy egyértelmű vízállás-hordaléktöménység kapcsolat a rendelkezésre álló adatok alapján nem állítható fel. A nem egyértelmű kapcsolat számos okra visszavezethető, amelyek azonban inkább vízgyűjtő-léptékűek lehetnek. Az árhullámmal levonuló hordaléktömeg függhet az árhullámot kiváltó tényezőktől (hóolvadás, csapadék), valamint attól, hogy az árhullám melyik főági vagy melléági részvízgyűjtőről érkezik, továbbá ennek a részvízgyűjtőnek a tulajdonságaitól. A fentieken túl a lebegtetett hordalék mennyiségét befolyásolja a levonuló ár magassága is: az árhullám olyan magas szinttel is levonulhat, hogy a mellékágakon keresztül folyva az azokban lerakódott iszapot kimossa, vagy a hullámtérre kilépve az ott lerakódott anyagot elragadja. Az érkező árvízi vízhozam az árvizes időszakok között képződött mederpáncélzat felszakításával szintén növeli a szállított hordalék mennyiségét. Az árhullámok egymásutánisága szintén számíthat, míg az első árhullám kimoshatja a mellékágakból az oda lerakódott iszapot vagy felszakítja a mederpáncélzatot, így növelve a főmeder hordaléktöménységét, addig a későbbi árhullámok ezt már nem tudják megtenni. Az árhullámok egymásutániságának hatását megfigyelhetjük a 6. ábrán is. A legtöbb lebegtetett hordalékot az első árhullám szállítja, míg a későbbiek esetében a tetőző hordaléktöménységek aránytalanul kisebbek. A jelenséget tehát annak komplexitása miatt a jelenleg használatban lévő egyváltozós kapcsolattal nem lehet egyértelműen leírni (Lohani és társai 2009).

A vízállás és lebegtetett hordaléktöménység (vagy a vízhozam és a zavarosság) hiszterézisének irányával

kapcsolatban több közlemény (Lannergård és társai 2021, Wymore és társai 2019, Lewis és társai 2002) érhető el. Közepes méretű vízgyűjtőkön a Lannergård és társai által végzett kutatásban számos árhullám egyidejű vízhozam és zavarosság adatait vizsgálták, melyek alapján több hiszterézismintát (óramutató járásával megegyező irányú, óramutató járásával ellentétes irányú, nyolcas alakú, komplex) különítettek el. A kutatás eredményeként a különböző hiszterézisminták kialakulását az árhullámot kiváltó tényezőkkel, hordalékforrások számával, a hordalékforrások távolságával az észlelési helytől, valamint az egyes hordalékforrások mobilizálhatóságával magyarázták (Lannergård és társai 2021).

A fentiek ellenére érdemes mégis megvizsgálni a hordaléktöménységet a vízállás függvényében. A 7. ábrán a fenti három kiválasztott időszak vízállás-hordaléktöménység adatai láthatóak. A három nagyobb árhullám 570-670 cm-es vízállással tetőzik, a tetőző hordaléktöménységek azonban nem arányosak a tetőző vízállással, azok 51-154-236 mg/l értéket mutatnak. Megfigyelhető továbbá a két legnagyobb árhullám esetén a hordaléktöménység vízhozamhoz hasonló, hurokgörbeszerű levonulása. Előfordult azonban olyan árhullám, ahol a hurokgörbe iránya fordított volt, ugyanannál a vízállásnál az apadó ágon nagyobb volt a hordaléktöménység, mint az áradó ágon. A 2021. július-augusztusi árhullámnál az apadó ágon alakultak ki a nagyobb hordaléktöménységek, míg a 2020. februári árhullámnál az áradó ágon. A 2020. június-júliusi árhullámnál az azt 2 hónappal megelőző árhullámok miatt nem tudott nagyobb hordaléktöménység, így hurokgörbe sem kialakulni.



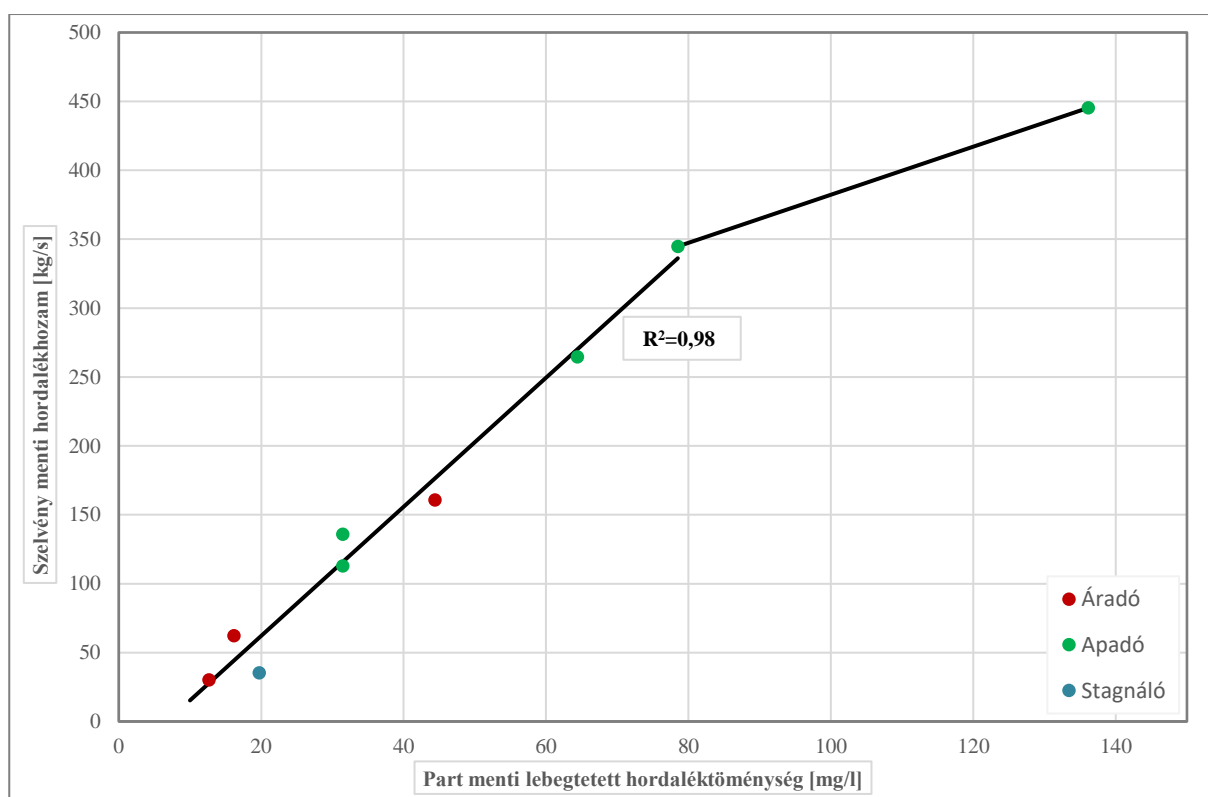
7. ábra. Lebegtetett hordaléktöménység a vízállás függvényében több árhullám idején
Figure 7. Suspended sediment concentration versus stage during different floods

Part menti hordaléktöménység – szelvény menti hordalékhozam összefüggés

Az elemzés utolsó lépésében kapcsolatot kerestünk a part menti hordaléktöménység és a szelvény menti hordalékhozam között. A part menti lebegtetett hordaléktöménységet a regisztrált zavarosság alapján számítottuk, figyelembe véve a szonda és a kézi zavarosságmérő által mért zavarosságok közötti korrekció szükségességét.

A távjelző állomás telepítése óta 9 hordalékhozam-mérést végeztünk a bajai szelvényben, ezek eredményeit vettük össze a part menti lebegtetett hordaléktöménységgel. Az eddigi eredmények alapján található használható összefüggés a két mennyiség között. A szakirodalom (Habersack és társai 2013, Haimann és társai 2014b, Pomázi és Baranya 2020) alapján a mérési eredményekre két egyenest illesztettünk, ugyanis 80 mg/l hordaléktöménység körül az egyenes meredeksége jelentősen csökken. Az

egyenes illeszkedése az alsó tartományban nagyon erős, a determinációs együttható 0,98. A kevés (kettő) mérési eredmény miatt a felső tartomány illeszkedésének megfelelőségét még nem lehet eldönteni. Az egyenesek egyébként jól illeszkednek az áradó, az apadó, illetve a stagnáló mérési eredményekre is. Az eredmények és illesztett egyenesek a 8. ábrán láthatóak. A két egyenes közötti töréspontot a mérések számának növelésével pontosabban lehet majd kijelölni. Pomázi és Baranya 2020-ban közölt tanulmányukban, szintén a Dunán (Sződliget és Ráckeve) a két egyenes közötti töréspontot 30 mg/l hordaléktöménység körül határozta meg. A töréspontok közötti eltérést okozhatja a szelvények közötti nagy távolságon (130-190 km) túl a szelvények geometriai különbözősége is. A bajai szonda a Duna bajai kanyarulatának homorú partján van elhelyezve, amely oldalon a vízhozam és a hordalék nagy része is levonul, így az ezen a parton mért part menti hordaléktöménység értékek mindig nagyobbak.



8. ábra. Part menti hordaléktöménység – szelvény menti hordalékhozam összefüggés
Figure 8. Near-bank concentration – total suspended load relationship

ÖSSZEFOGLALÁS

A hazai gyakorlatban a lebegtetett hordalékhozam számítását jelenleg hordalékhozam görbével ($G=f(Q)$) végezzük, azonban egyértelmű egyváltozós összefüggést a jelenség komplexitása miatt nem lehet felállítani. A közelmúltban zárult DanubeSediment projekt eredményei között szerepelnek ajánlások a dunai hordalékmonitoring időbeli felbontásának és minőségének javítására, melyek közül egyik az optikai zavarosságmérő alkalmazása. A lebegtetett hordalékhozam közvetett módon, optikai zavarosságmérővel való meghatározására a nemzetközi és hazai szakirodalomban (Habersack és társai 2013, Haimann és társai 2014b, Habersack és társai 2018a, Pomázi és Baranya 2020) több sikeres példa is fellelhető. A módszer

nagy előnye, hogy a hagyományos módszerhez képest jelentősen megnöveli a monitoring időbeli felbontását. A vizsgálat célja az ajánlott módszer alkalmazhatóságának vizsgálata volt a Duna bajai szelvényében, sikeres alkalmazás esetén pedig a monitoring idő- és költséghatékonyságának növelése.

A folyamatos zavarosságmérést egy zavarosságregisztráló szonda segítségével végeztük, melyet a Duna bajai szakaszára, egy úszópontonra telepítettünk ki távjelzős állomásként. A zavarosságregisztráló szonda által mért értékeket rendszeresen ellenőriztük kézi zavarosságmérővel. Mivel nagyobb zavarosságtartományban a szonda nem mért kellő pontossággal, ezért kapcsolatot kerestünk és ál-

lítottunk fel a szonda által mért zavarosság és a kézi zavarosságmérővel mért zavarosság között. A kettő közötti erős kapcsolat felhasználásával elvégeztük a nyers, regisztrált adatok korrekcióját. A korrigált zavarosságokat a kézi zavarosság és a lebegtetett hordaléktöménység között felállított erős kapcsolat alapján számítottuk át lebegtetett hordaléktöménységgé. A zavarosság és a lebegtetett hordaléktöménység közötti erős kapcsolat felállításához 4 (3 rendszeres, 1 expedíciós) dunai hordaléknyilvántartó állomáson 4 éven keresztül vett, mintegy 1000 db mintát használtunk fel. Ezután egyidejű partmenti zavarosságmérések és lebegtetett hordalék mintavételek alapján a partmenti lebegtetett hordaléktöménység és a teljes szelvényen átáramló lebegtetett hordalékhozam között kerestünk és találtunk az eddigi eredmények alapján jó kapcsolatot.

Az eddigi eredmények jó kiindulási alapot szolgáltatnak, azonban **a 9 mérés még nem elegendő** ahhoz, hogy megbízható és minden méréstartományra kiterjedő összefüggéseket lehessen felállítani. A jövőben tehát célszerű folytatni a méréseket a kapcsolat pontosítása érdekében. Egy elfogadható part menti hordaléktöménység-szelvény menti lebegtetett hordalékhozam összefüggés felállítása után el lehet végezni az integrált módszer teljes körű összehasonlítását a hordalékhozam görbés módszerrel. Mivel a Duna bajai szelvénye nem rendszeres hordaléknyilvántartó állomás, ezért sem érvényes hordalékhozam görbe, sem történelmi hordalékadatok nem állnak rendelkezésre. A végleges összehasonlításhoz tehát előbb ezt a hagyományos összefüggést is fel kell állítani. További vizsgálatokat kell elvégezni a kiválasztott szelvény megfelelőségével kapcsolatban. Az eddigi mérések között nem volt olyan, amikor a Duna kilépett volna a főmederből (400 m széles), ezért a hullámtér (7 km széles) víz- és hordalékszállítás hatásait az integrált módszerrel még nem lehetett felderíteni.

KÖZREMŰKÖDŐK, FINANSZÍROZÁS

Az eszközbeszerzést az OVF valósította meg intézményi beruházás keretében 2019-ben. A zavarosságmérő távjelző állomást az OVF tervezte. A kivitelezést a VITUKI HUNGARY Zrt. és az ADUVIZIG közösen végezte 2020-ban. A kivitelezés után az OVF az állomást tesztelésre és üzemeltetésre átadta az ADUVIZIG-nek 2020-ban.

A lebegtetett hordalékmintavételezéseket az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság Vízzajzi Osztályának vízhozammérő csoportja (Csóka János, Geszthelyi Norbert, Kalmár Endre) végezte.

IRODALOMJEGYZÉK

Baranya S., Józsa J., Török G., Kondor G.T., Ficsor J., Mohácsiné Simon G., Habersack, H., Haimann, M., Riegler, A., Liedermann, M., Hengl, M. (2015). A Duna hordalékvizsgálatai a SEDDON osztrák-magyar együttműködési projekt keretében, Hidrológiai Közönlöny 95. évf. 1. sz. pp. 41-46.

Gray, J., Landers, M. (2014). Measuring Suspended Sediment. Comprehensive Water Quality and Purification. 12. 159-204. 10.1016/B978-0-12-382182-9.00012-8.

Habersack, H., Baranya, S., Holubova, K., Vartolomei, F., Skiba, H., Schwarz, U., Krapesch, M., Gmeiner, Ph., Haimann, M. (2019a). 'Danube Sediment Management

Guidance', Output 6.1 of the Interreg Danube Transnational Project DanubeSediment co-funded by the European Commission, Vienna.

<https://tinyurl.com/bderbx95>

(Letöltés dátuma: 2022.01.20).

Habersack, H., Baranya, S., Holubova, K., Vartolomei, F., Skiba, H., Schwarz, U., Krapesch, M., Gmeiner, Ph., Haimann, M. (2019b). Sediment Manual for Stakeholders. Interreg Danube Transnational Programme. DanubeSediment. Project co-funded by European Union funds (ERDF, IPA). Coordinated and published by: BOKU – University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Institute of Hydraulic Engineering and River Research (IWA) Vienna.

<https://tinyurl.com/48636e4a>

(Letöltés dátuma: 2022.01.20).

Habersack, H., Liedermann, M., Haimann, M., Kreisler, A. (2013). Innovative Approaches in Sediment Transport Monitoring M. and Modelling. Proceedings of the 35th IAHR World Congress, Chengdu.

Haimann, M., Gmeiner, P., Liedermann, M., Aigner, J., Kreisler, A., Riegler, A., Blamauer, B., Baranya S., Török G.T., Ficsor, J., Józsa J., Mohácsiné Simon G., Hengl, M., Habersack, H. (2014a). Hordalékvizsgálati kézikönyv, SEDDON projekt.

Haimann, M., Liedermann, M., Lalk, P., Habersack, H. (2014b). An integrated suspended sediment transport monitoring and analysis concept. International Journal of Sediment Research 29(2):135-148, DOI: 10.1016/S1001-6279(14)60030-5.

Gray, J.R., Gartner J.W. (2010). Surrogate technologies for monitoring suspended-sediment transport in rivers, Sedimentology of Aqueous Systems, Blackwell Publishing.

Kutai R. (2014). Pontbeli zavarosságmérésen alapuló hordalékhozam becslő eljárás implementálása a Dunára, Tudományos Diákköri Konferencia, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék.

Lannergård, E., Fölster, J., Futter, M. (2021). Turbidity-discharge hysteresis in a meso-scale catchment: The importance of intermediate scale events. Hydrological Processes. 35. 10.1002/hyp.14435.

Lohani, A.K., Goel, N.K., Bhatia, K.K.S. (2007). Deriving stage-discharge-sediment concentration relationships using fuzzy logic, Hydrological Sciences Journal, 52:4, 793-807, DOI: 10.1623/hysj.52.4.793.

Lewis, D., Tate, K., Dahlgren, R., (2002). Turbidity and Total Suspended Solid Concentration Dynamics in Streamflow from California Oak Woodland Watersheds I. Proc. Symp. on Oak Woodlands in California's Changing Landscape.

ME-10-231-17:2009: Felszíni vizek vízhozamának mérése ADCP berendezéssel, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium.

ME-10-231-19:2009: Felszíni vizek lebegtetett hordalékának mérése palackos vízmintavételezéssel, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium.

ME-10-231-20:2009: Felszíni vizek lebegtetett hordalékának mérése szivattyús mintavevővel, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium.

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

Pomázi F., Baranya S., Török G. (2020). Nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának új vizsgálati módszerei 1. – A továbbfejlesztett hordalékmonitoring módszertan bemutatása. *Hidrológiai Közlöny* 100. évf. 2. sz. pp. 37-47.

Sutherland, T., Lane, P., Amos, C., Downing, J., (2000). The calibration of optical backscatter sensors for

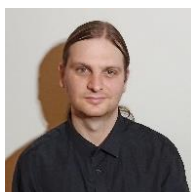
suspended sediment of varying darkness levels. *Ž . Marine Geology*. 162. 587-597. 10.1016/S0025-3227(99)00080-8.

VMS 251/8-81(1981): Hidrológiai mérési adatok elsődleges feldolgozása: A lebegtetett hordalék adatai, OVH Vízügyi Szabványosítási és Egységesítési Központ, MSZH Kiadó, Budapest.

Wymore, A.S., Leon, M.C., Shanley, J.B., McDowell, W.H. (2019). Hysteretic Response of Solutes and Turbidity at the Event Scale Across Forested Tropical Montane Watersheds, *Frontiers in Earth Science*, Volume 7/2019, DOI 10.3389/feart.2019.00126, ISSN 2296-6463.

*** (1941). Laboratory investigation of suspended-sediment amplifiers, Interagency Report No. 5, Hydraulics Laboratory, Iowa University, Iowa.

A SZERZŐ



VAS LÁSZLÓ TAMÁS 2015-ben végzett építőmérnökként a bajai Eötvös József Főiskolán, majd 2017-ben okleveles birtokrendező mérnökként az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karán Székesfehérváron. 2015 óta dolgozik az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóságon, 2018 óta az Igazgatóság Vízrajzi Osztályán.



Ember és víz

- Fejezetek a vízgazdálkodás történetéből -

Leonardo da Vinci és a vízhozammérés

Egy kép Leonardot vízhozammérés közben ábrázolja. A tudós a folyó mellett lépked egy magasságban az úszóval, míg egy kerek szerkezetet tol maga előtt, a megtett távolság meghatározása céljából. A folyó túlsó partján Leonardo segítőtje újabb úszókat készít elő vízrebocsátásra. Az idő meghatározása, amely alatt az úszó a lemért útszakaszt megteszi – a feljegyzések szerint –, úgy történt, hogy Leonardo a hangskálát énekelte és a skálázások számát feljegyezte. Minden bizonnyal ez volt az első komolyabb kísérlet a víz sebességének felszíni úszóval történő meghatározására.

Leonardonak helyes elképzelései voltak a vízsebesség eloszlásáról a nyíltfelszíni medrekben és azokat világosan meg is fogalmazta: *"A vízmozgás sebessége a felszínen nagyobb, mint a mederfenéknél. Ez azért van, mert a felszínen a víz csak a levegővel érintkezik, ami a víznél könnyebb és mozgékony, míg a mederfenéken a víz a talajjal is érintkezik, amelynek nagyobb az ellenállása. A medertől távolodva csökken az ellenállás értéke."*

Sz. L.

Az integrált vízgazdálkodás lehetőségei a Laskó-patak vízgyűjtőjén

Szilágyi Ferenc

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (E-mail: szilagyi.ferenc@emk.bme.hu)

Kivonat

Az integrált vízgazdálkodás egyszerre jelenti a különböző tudományágakból származó tudás alkalmazását, valamint az összes érintett vízhasználó bevonását a vízkészletek felhasználásába. Az integrált vízgazdálkodás célja hatékony, igazságos, fenntartható megoldások kidolgozása és végrehajtása a vízproblémákra. E tanulmányban kiválasztottunk egy magyarországi vízfolyást, a Laskó-patakot, és elemeztük a sokféle vízhasználatot, az érdekellentéteket, és az ellentétek feloldásának lehetőségét egy Vízgyűjtő-gazdálkodási Szövetség keretében, melynek tagja lehet minden érdekelt vízhasználó. Azért a Laskó-patakot választottuk esettanulmányként, mert e patakon és vízgyűjtőjén nagyon sokféle felszíni és felszín alatti vízhasználat markánsan megjelenik, amelyek összehangolatlansága, szabályozatlansága és a víz újra felhasználási lehetőségeinek részbeni kihasználatlansága miatt nincs a patak az EU Víz Keretirányelv (VKI) szerinti jó állapotban. Az integrált vízgazdálkodás jó eszköz lehet a jövőbeni helyes cél megvalósítására, amelynek során a meglévő problémákat minimalizálják.

Kulcsszavak

Integrált vízgyűjtő-gazdálkodás, vízhasználatok, vízhasználati ellentétek, Víz Keretirányelv, Laskó-patak.

The possibilities of integrated water management on watershed of Laskó Stream, Hungary

Abstract

Integrated water management means simultaneously applying knowledge from different disciplines and involving all relevant water users in the use of available water resources. The goal of integrated water management is to develop and implement efficient, equitable, sustainable solutions to water problems. In this study a Hungarian watercourse (the Laskó Stream and its watershed) was selected to analyze the wide range of water uses, conflicts of interest, and the possibility of resolving the conflicts within the framework of a future River Basin Management Association, of which all interested water users can be members. We chose the Laskó Stream as a case study because a wide variety of surface and ground-water uses are markedly present in this relatively small stream and its catchment. The uncoordinated, unregulated use together with overuse of existing stock of water causes the lack of good Water Framework Directive (WFD) status. Integrated water management in catchment scale may be the right goal for the future to minimize existing problems.

Keywords

Integrated water management, water uses, water conflicts, Water Framework Directive, Laskó Stream, Hungary.

BEVEZETÉS

Az integrált vízgazdálkodás (IVG) koordinált, célirányos folyamat, amely a folyókon, tavakon, óceánokon a fejlesztési és felhasználási kezdeményezéseket hivatott szabályozni. A Globális Víz Partnerség szervezet (GWP 2011, GWP 2014, Ijjas 2014, Ijjas 2019) szerint: „az integrált vízgazdálkodás olyan folyamat, amely a víz, a terület és a kapcsolatos készletek összehangolt fejlesztését és gazdálkodását teszi lehetővé, annak érdekében, hogy maximalizálja az egyenjogúság szem előtt tartásával az ebből származó gazdasági és társadalmi jólétet, anélkül, hogy a létfonosságú ökoszisztémák fenntarthatóságát megsértenék.”

Az IVG egyszerre jelenti a különböző tudományágakból származó tudás alkalmazását, valamint az összes érintett bevonását a folyamatokba. Az IVG célja a vízproblémákra hatékony, igazságos, fenntartható megoldások kidolgozása és végrehajtása. Az integrált vízgazdálkodás a vízkészletek megfelelő kezelését és fejlesztését biztosító, átfogó, a társadalom részvételén alapuló tervezési és végrehajtási eszköz, ami biztosítani igyekszik az egyensúlyt a társadalmi és gazdasági szükségletek között, valamint az ökoszisztéma védelmét a jövő generáció számára. Az IVG alapja a vizet használók kölcsönös egymásra utaltsága. A számos felhasználó – pl. mindennapi szükségletek, mező-

gazdaság, ipar, turizmus stb. - koordinált fellépése szükséges a fenntarthatósághoz. Az integrált vízgazdálkodás alkalmazása olyan nyitott, rugalmas folyamat, amely biztosítja a vízkészletet érintő szektorok döntéshozóinak kommunikációját és az összes érintett bevonását a vízzel kapcsolatos kihívásokkal összefüggő döntések meghozatalába. Az integrált vízgazdálkodás keretében megjelentek olyan intézmények, melyek nem a jogi, hanem a hidrológiai határokat veszik figyelembe. A legtöbb ilyen intézmény a vízgyűjtő szervezet (River Basin Organization – RBO) kategóriába sorolható, néhány pedig a felszín alatti vizeken, tavakon zajló gazdálkodásra specializálódott (Wikipédia 2018). Ijjas István szerint (szóbeli közlés, 2022) az IVG fenti meghatározása félrevezető lehet, mert az nem csak a vízhasználatokra fókuszál. A GWP kissé túlbonyolította az IVG fogalom meghatározását, mivel leegyszerűsítve valahogy úgy fogalmazható meg, hogy az IVG mindenfajta vízzel kapcsolatos probléma kezelését a szociális/humán, a gazdasági és környezeti/természeti szempontok figyelembevételével végzi úgy, hogy ezzel a társadalom elégedett legyen, amiben fontos szerepe van a társadalom részvételének a vízgazdálkodási döntési folyamatokban. Az IVG a korábbi VKI szemlélethez képest kibővült feladatokat tartalmaz.

Az IVG kialakulása többek között arra a felismerésre alapult, hogy a felhasználható vízkészleteink korlátozottak, felhasználásukra egyidőben több jelentkező is akad, ugyanakkor a túlhasználattal következtében a rendelkezésre álló vízkészletek folyamatosan elszennyeződnek, ezáltal kevésbé válnak alkalmassá az ökoszisztémák és az emberi társadalom igényeinek kielégítésére (*UN Water 2015, Somlyódy 2011, 2018*). Elsőként az USA-ban 1972-ben elfogadott „Tisztavíz Törvény” adott lökést a vízgazdálkodás újragondolására. Tulajdonképpen ez az ökoszisztémák állapotát óvó és javító szemlélet jelent meg a 2000-ben az EU-ban elfogadott Víz Keretirányelvben (VKI-ban) is (*WFD 2000*). A VKI alap gondolata az, hogy a jó állapotú vízi és víztől függő ökoszisztémák jelenthetik a biztosítékot a vízigények hosszútávú kielégítésére az ökoszisztémák működésének és szerkezetének fenntartása, sőt javítása mellett. A VKI-ban is jelen van az árvízi biztonság elsődlegessége, az emberi vízhasználatok kielégítésének szükségessége, de ez nem jelentheti az ökoszisztéma elemeinek túlzott, elfogadhatatlan mértékű igénybevételét. *Ijjas (2019)* szerint azonban a VKI végrehajtása önmagában kevés az IVG teljesüléséhez, „teljesen integrált” vízgazdálkodásra van szükség, ami jóval több a VKI szerinti vízgyűjtő-gazdálkodásnál, mert azt jelenti, hogy nemcsak a vizek jó állapotát biztosító intézkedéseket kell végrehajtani, hanem a gazdasági és szociális céloknak megfelelő vízgazdálkodással kapcsolatos igények kielégítését biztosító intézkedéseket is. Más szóval, az alapvetően ökológiai centrikus VKI intézkedéseknél figyelembe kell venni az emberi gazdasági és szociális célokat is (*Ijjas 2019*).

E tanulmány célja annak vizsgálata, hogy az integrált vízgazdálkodás alapjai hogyan alkalmazhatók egy olyan magyarországi kisvízfolyáson, amelyet számos emberi hatás ér. A Laskó-patak kiválasztását az alábbi okok indokolták:

- A patak vízhozama viszonylag kicsi, vízgyűjtőjén a hegyvidéki, dombvidéki és síkvidéki jelleg egyaránt megtalálható.
- Az átlag vízhozamhoz képest a patak vízhozama szélsőségesen változhat.
- A patak vízgyűjtőjén (különösen a középső víztestén) rendkívül sokféle emberi tevékenységet folytatnak. Ezek a tevékenységek jelentős hatással vannak a patak víztestjeinek állapotára.
- A patak befogadója a Tisza-tó (a Kis-Tisza révén), mely nagyon fontos öntözési, rekreációs és áramtermelő vízbázis.
- A patak középső vízgyűjtőjén három nagyon jelentős gyógyfürdő és termálfürdő is található, amelyekhez számos egyéb – termálvizet használó – vendéglátó ipari létesítmény (hotel, motel, apartman, vendégházak stb.) kapcsolódik, amelyek a

térség turisztikai vonzerejét növelik, így meghatározó tevékenység a vízgyűjtőn a termálvíz használat, a vendéglátás és a szőlőtermesztés. Mindegyik jelentős mennyiségű vizet igényel, amelynek helyben tartása és újra felhasználása – ha jól csinálják – kicsiben jó modellterületként (mintaterületként) szolgálhat az új vízgazdálkodási szemlélet bemutatásához.

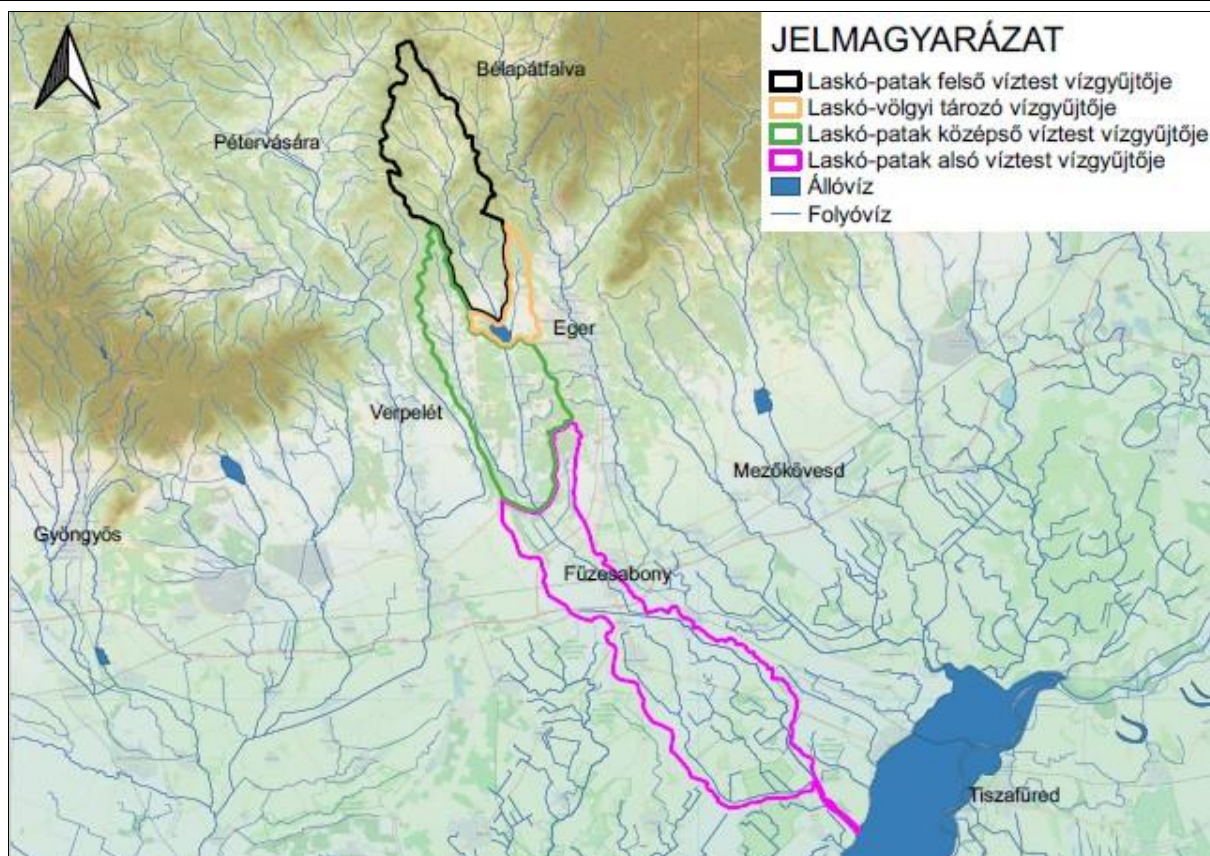
A vízgyűjtő elnevezés a magyar nyelvben pontosiításra szorul. A *river basin* elnevezést annak idején vízgyűjtőnek fordították magyarra. Helyesebb lett volna a folyó völgy vagy esetleg folyómedence kifejezés használata (*Ijjas 2022, szóbeli közlés*). Sajnos, a „vízgyűjtő” kifejezés a szakmában már nagyon elterjedt, nehéz volna megváltoztatni.

A továbbiakban kiemeljük azokat a főbb jellemzőket, amelyeket a további elemzéseknél szem előtt kell tartanunk. Kitérünk a felszín alatti víztestek jellemzésére, mert ilyen szempontból a terület nagyon érdekes (bükk-i hideg és meleg karszt találkozása a felső két víztesten).

A LASKÓ-PATAK ÁLTALÁNOS JELLEMZÉSE

Felszíni vizek

A Laskó-patak folyását és víztestjeit az *1. ábrán* mutatjuk be. A patak a Tisza középső szakaszának kis méretű, jobb oldali mellékvízfolyása. A vízfolyás és a rajta kialakított Laskó-völgyi-tározó kezelője az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság Egri Szakaszmérnöksége. A patak Heves megyében, a Bükk-vidék területén ered és a Tisza-tóba torkollik. Egerbocsi forrásvidékétől egészen a Tisza-tóig a patak hossza 74 kilométer. A vízfolyás útja során két járason (az egri járason és a füzesabonyi járason) folyik keresztül, érintve egy várost (Füzesabonyt) és 11 községet: teljes szakaszán Heves megye területén folyik. A vízgyűjtő területe 367,5 km². Sokévi átlagos vízhozama (1971-2000) 0,554 m³/s a torkolatánál. A legkisebb vízhozama 0,01 m³/s, a legnagyobb 53 m³/s. A vízjárás tehát rendkívül szélsőséges. Öt jelentősebb mellékvíz és több kisebb vízfolyás táplálja. Legjelentősebb mellékága a Szóláti-patak. A vízfolyás jelentősebb mellékvizei a Bocsi-patak (6 km; 14,2 km²), amely Bátoránál torkollik belé, illetve az Örvény-patak (6,2 km; 11 km²), amely Egerbakta északi határában ömlik bele. A felső szakaszon folyik belé néhány kisebb csermely. A Laskó-patak – Egerszalóktól északra – keresztül folyik a rajta kialakított, felduzzasztott vizű Laskó-völgyi-tározón, majd tovább folytatja útját dél felé. Kerecsend északi határában a Szóláti-patak (22 km; 40,2 km²; 0,079 m³/s) vizével gazdagodik. Mezőtárkány után, Poroszló és Újlőrincfalva határában előbb a Hamarka-csatorna, majd a Csincsacsatorna (Tepely-Hidvégi-csatorna; 22,5 km; 71,2 km²) folyik belé (*Wikipédia 2021*).



1. ábra. A Laskó-patak és vízgyűjtője (Murányi Gábor szerkesztése)
Figure 1. Watershed of Laskó Stream (Edited by Gábor Murányi)

A Víz Keretirányelv (WFD 2000) szerint készült második magyarországi Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv (VGT2 2015) a Laskó-patakon három folyó víztestet különített el. Ezeknek a főbb jellemzőit az 1. és a 2. táblázat tartalmazza. (Megjegyzendő, hogy a VGT2 felülvizsgálata is megtörtént, az elkészült anyag a VGT3. Azonban mivel ezt a Kormány még nem tárgyalta (VGT3 2021), ezért jelen tanulmányunkban a VGT2 eredményeit közöljük.)

A VGT2 szerint a felső két víztest természetes, az alsó pedig természetes és erősen módosított. A felső víztest (fekete vonal) vízgyűjtője dombvidéki-hegyvidéki, nagy esésű, meszes, durva mederanyagú és kicsi vízgyűjtőjű, 2S típusú vízfolyás. Sárgával jelöltük az ábrán a Laskó-völgyi-tározót. A középső víztest (zöld vonal) a 3M típusba tartozik, dombvidéki, közepes esésű, meszes, durva mederanyagú és közepes vízgyűjtőjű vízfolyás. Az alsó víztest (piros vonal) 6M típusú, síkvidéki, kis esésű, meszes, közepes-finom mederanyagú és közepes vízgyűjtőjű vízfolyás (1. táblázat). A felső víztest hossza kb. 11 km, a középsőé 19 km, az alsóé pedig 44 km. A saját vízgyűjtők mérete ebben a sorrendben 75 km², 40 km², 164 km². A patak teljes vízgyűjtője 367,5 km² (2. táblázat). A három víztest biológiai állapotának VGT2 (2015) szerinti biológiai minőségét a 3. táblázat, míg a fiziko-kémiai jellemzők szerinti minőségét a 4. táblázat tartalmazza. A két táblázat adatai azt mutatják, hogy a Laskó-patak egyik vízteste sem éri el a jó állapotot. A VKI (WFD 2000) és a VGT2 (2015) szerint a biológiai minőség alapvetően meghatározó. A minőség 1-5 skála szerint történik, ahol 1 jelenti a rossz, 5 pedig a kiváló állapotot (WFD 2000). A

felső víztest állapota gyenge (2), ami feltehetően a kis vízhozam és a bátori regionális szennyvíztelep együttes hatása mellett a mezőgazdasági eredetű szennyeződéseknek is tulajdonítható. A többi víztest mérsékelt (3) állapotú. A fiziko-kémiai támogató jellegű minősítés szerint (4. táblázat) a felső és az alsó víztest nem éri el a jó állapotot, míg a jellemzők szerint a középső víztest jó (4) állapotú. Ezek a minősítések azonban támogató jellegűknél fogva nem módosítják a végső minősítést, amit a biológia határoz meg. Ennélfogva intézkedések szükségesek a víztestek vízgyűjtő-gazdálkodási tervében a jó állapot irányába. Ezeket az intézkedéseket integrált módon, a jó állapot elérését szem előtt tartva kell meghatározni.

A furcsa a fiziko-kémiai minősítésben az, hogy a középső víztest fiziko-kémiai állapota jó, ugyanakkor ez a víztest kapja a legnagyobb terheléseket (termálvíz elsősorban, de szennyvíz is). A magyarázatot a patakvíz és a használt termálvíz összetétele közötti különbségben kell keresni (lásd: később), valamint abban, hogy a minősítésnek nem része a vízhőfok.

A VGT2 ezekre a víztestekre intézkedési programot határoz meg, amely az alábbi fő elemekből áll (VGT 2015):

- A felső víztesten a szabályozottságot csökkentő intézkedésekre van szükség, ezáltal javítani kell az ökológiai állapotot.
- Az alsó víztesten a vízjárást befolyásoló intézkedéseket kell tenni.

Valójában a Laskó-patak problémája sokkal összetettebb, mivel kezelni kellene a középső víztesten megjelenő

hőterhelés és a termálvíz befolyásból adódó hidrológiai és ökológiai problémákat. Ugyancsak fontos a Laskó-völgy-tározónak az átjárhatóságot csökkentő hatása, valamint a tározónak a vízjárást módosító hatása az alvizen. A mezőgazdasági és a települési hatások (diffúz terhelés és szennyvíz hatás) is fontosok. Összességében tehát a VGT2-ben meghatározott intézkedéseken felül a patakot, a folyóvölgyét és az emberi tevékenységeket egységként kezelő integrált szemlélettel lehet csak a VKI céljait elérni.

Az integrált vízgazdálkodás szempontjából számunkra a középső víztest a legfontosabb, mert itt jelennek meg a legváltozatosabb és legnagyobb gazdasági értéket felmutató vízhasználatok, ezért a továbbiakban a Laskó-patak középső víztestére koncentrálnunk. Jóllehet tudjuk, hogy a patakot egészében kell kezelni, mert a felső víztest erősen kihat a középső víztestre, míg az alsó víztest vízhasználatait a középső víztestből elfolyó víz nagymértékben befolyásolja.

A középső víztest medermorfológiájára a korábbi vízrendezés nyomta rá a bélyegét. Erre a víztestre a trapéz

meder jellemző. Ugyanakkor a medret hosszú szakaszon sűrűn benőtték a fák és bokrok a „karbantartás” elmaradása miatt (utoljára a múlt század '60-as éveiben volt mederkarbantartás). A meder esése jelentős, ezért a patak gyors folyású e szakaszon.

A vízgyűjtőn jelentős elem a Laskó-völgy-tározó, amely elsősorban árvízvédelmi céllal létesült, de hasznosítása öntözővízként és horgászvízként is jelentős. A VGT3-ban a tározó külön tóviztest. Az Egerszalók határában fekvő víztározót 1980-82-ben építették meg. A tározó a Laskó-patak 47,255 fkm-énél helyezkedik el, völgyzárógátas típusú. Felülete üzemi vízszint esetén 121 ha, árvízi vízszint esetén 133 ha. Térfogata üzemi vízszint esetén 3 900 000 m³, árvízi vízszint esetén 5 000 000 m³. Célja az árhullámcsúcs csökkentése, horgászat, öntözés (ÉKÖVIZIG 2009). Sajnos, esetenként az elsődleges célt felülírják a másodlagos célok érdekei (elsősorban a horgászaté), ami kockázatot jelent az árvízvédelem és a patak ökológiai állapota szempontjából egyaránt.

1. táblázat. A Laskó-patak víztesteinek jellemzése (VGT2 2015)
Table 1. Characteristics of water bodies of Laskó Stream (VGT 2015)

VOR kód	Víztest neve	Alegység	Általános kategória	Geológia	Méret kategória	Lejtés kategória	Mederanyag kategória	Típus	Tipizálás
AEP 749	Laskó-patak felső	8	dombvidéki-hegyvidéki	meszes	kicsi	nagy esésű	durva	2S	Dombvidéki-hegyvidéki – nagy esésű – meszes – durva mederanyagú – kicsi vízgyűjtőjű
AEP 751	Laskó-patak középső	8	dombvidéki	meszes	közepes	közepes esésű	durva	3M	Dombvidéki – közepes esésű – meszes – durva mederanyagú – közepes vízgyűjtőjű
AEP 750	Laskó-patak alsó	8	síkvidéki	meszes	közepes	kis esésű	közepes-finom	6M	Síkvidéki – kis esésű – meszes – közepes-finom mederanyagú – közepes vízgyűjtőjű

2. táblázat. A Laskó-patak víztesteinek jellemzése (VGT2 2015)
Table 2. Characteristics of water bodies of Laskó Stream (VGT 2015)

Víztest neve	Hosszúság, mért, km	Hosszúság GIS, km	Befogadó kategóriája	Befogadó VOR kódja	Befogadó neve	Befogadó vízfolyás, fkm	Vízgyűjtő méret, km ²	Teljes vízgyűjtő, km ²
Laskó-patak felső	11,257	17,33597692	tó	ANS523	Laskó-völgyi-tározó		75	75
Laskó-patak középső	18,896	11,71203096	folyó	AEP750	Laskó-patak alsó	34,094	40	173
Laskó-patak alsó	44,075	33,68831643	tó	ANS560	Tisza-tó		164	337

3. táblázat. A Laskó-patak víztesteinek ökológiai állapota (VGT2 2015)
Table 3. Ecological status of water bodies in Laskó Stream (VGT 2015)

Víztest neve	Kovaalga minősítés	Kovaalga értékelés	Kovaalga megbízhatóság	Makrozoobenton minősítés	Makrozoobenton értékelés	Makrozoobenton megbízhatóság	Fítoplankton minősítés	Fítoplankton minősítés	Fítoplankton megbízhatóság	Makrofita minősítés	Makrofita minősítés	Makrofita megbízhatóság	Összegzett biológiai besorolás
Laskó-patak felső	3	közepes	2	2	gyenge	3	4	jó	2				2
Laskó-patak középső	4	jó	2	3	közepes	3	3	közepes	2	3	közepes	2	3
Laskó-patak alsó	4	jó	3	3	közepes	3	4	jó	2				3

4. táblázat. A Laskó-patak víztesteinek fiziko-kémiai állapota (VGT2 2015)
Table 4. Physico-chemical status of water bodies in Laskó Stream (VGT2 2015)

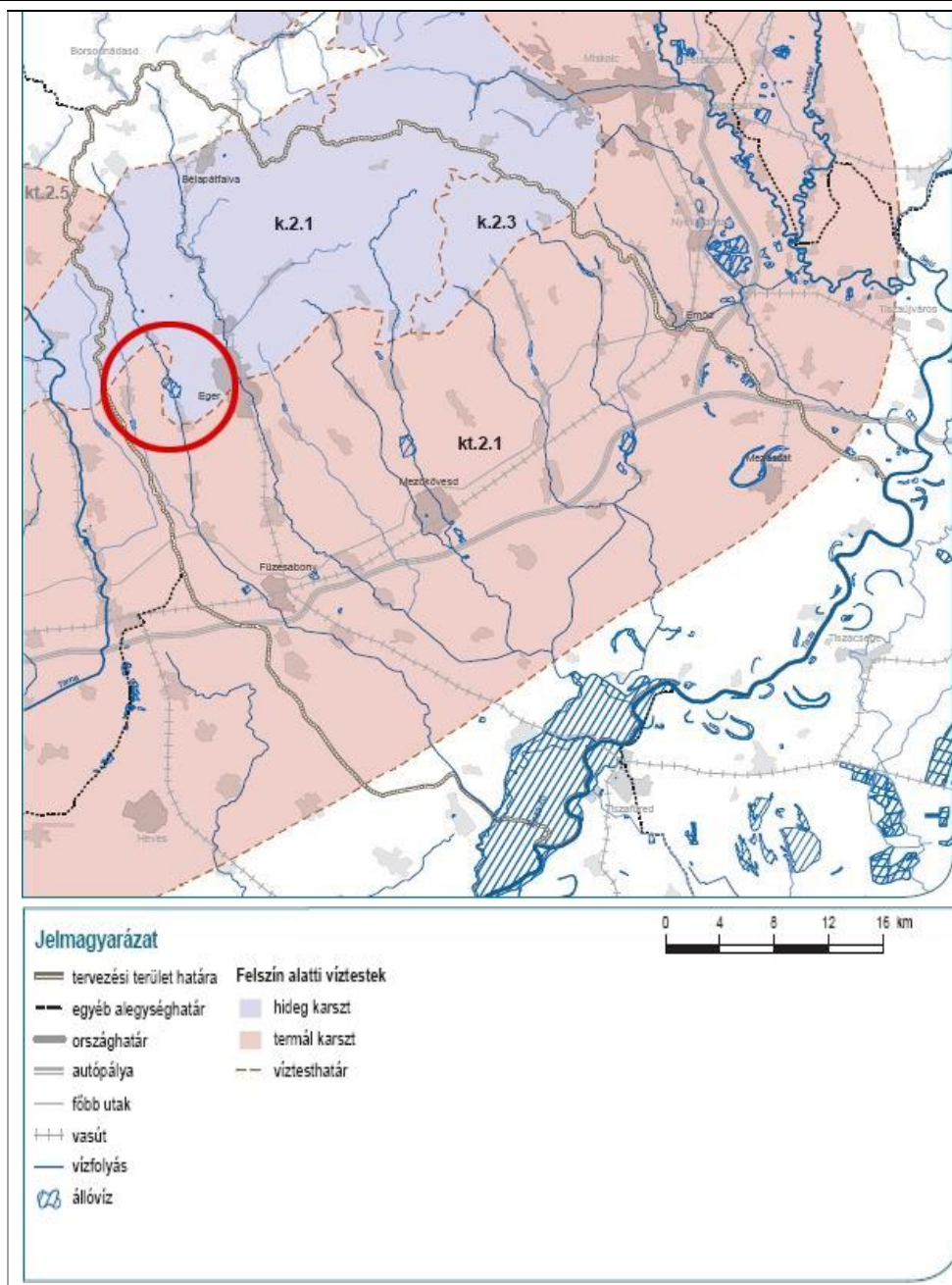
Víztest neve	Víztest neve	Folyótípus	Tápanyag osztály	Szerves osztály	Só osztály	Savas osztály	Fiziko-kémiai osztály	Megbízhatóság
AEP749	Laskó-patak felső	2S	3	3,25	4	5	3	magas
AEP751	Laskó-patak középső	3M	3,75	4,5	4	5	4	közepes
AEP750	Laskó-patak alsó	6M	2	3,75	3,5	5	2	alacsony

Felszín alatti vizek

Az EU Víz Keretirányelv alapján kijelölt 185 hazai, felszín alatti víztest közül 15 ún. termálkarsztos víztest (Liebe 2001). Teljes területük 22 300 km², ami az ország területének 24%-a. Magyarország területének kb. egyharmadán termelhetünk hideg és meleg karsztvizet. A bükki HU_kt.2.1. termál karsztvíz víztest (2. ábra) a maga 4 300 km²-es kiterjedésével második a hazai területarányos rangsorban. Az ábrán a rózsaszín a meleg karsztot, a kék szín a hideg karsztot jelöli. A piros kör a Laskó-patak melletti főbb termálvíz kivételi területet mutatja. Látható, hogy a Laskó-patak vízgyűjtőjének egy része a bükki hideg és meleg karszt határán van.

A termál karsztvizek kémiai összetételét alapvetően azok a karbonátos közettömegek határozzák meg, amelyek repedésein átáramlik a víz. Az oldási folyamat már a beszivárgást követően, közvetlenül a terepfelszín alatt megkezdődik: a beszivárgó széndioxid tartalmú víz oldja az alatta fekvő karbonátos kőzeteket. Ettől kalcium-magnézium-hidrogénkarbonátos jellegűek az ilyen vizek. Az intenzívebb áramlási zónákban a langyos és a meleg karsztvizek kis oldott anyag tartalmúak: összes oldott sótartalmuk nem éri el az 1 g/l-t. A víz

nagyobb mélységekben is találkozunk szén-dioxiddal, amely a mélybe süllyedt közettömeg átalakulásából származik. A hideg és a meleg vizek keveredésének hatására a meglévő szén-dioxid további oldásra képes, s ez nagyobb barlangok létrejöttéhez is vezethet. Működő termálforrásaink környezetében (pl. Budapesten) sok olyan barlangot ismerünk, amely a termálforrások egykori működési helyén keletkezett. A karbonátos kőzetekben gyakran vannak agyagásványok. A repedésekben áramló víz vegyi összetétele az agyagásványokkal való érintkezés révén az alkáli hidrogénkarbonátos jelleg felé is eltolódhat (pl. Hévíz, Harkány). A pirit bomlásából jelentős szulfáttartalmat vehet fel a víz. A kén-szulfid formában is megjelenhet, ami jelentős gyógyászati tényező. A nagyobb mélységű, zárt termálkarsztos tárolókban a nátrium-klorid koncentráció is megnövekedhet, egyes esetekben az eredeti bezárt tengervíznek megfelelő, többször 10 g/l töménységet is eléri (pl. Rábasömjén). A termál karsztvizekben előforduló gázok legnagyobb része általában szén-dioxid, amely bizonyos mennyiségben felül agresszívvá teszi az ilyen vizeket. Az ilyen víz megtámadja a fémeket, a kút csövezését éppúgy, mint a szerelvényeket (Liebe 2001).



2. ábra. A Bükk és a Mezőség felszín alatti víztestei (ÉKÖVIZIG 2009)
 Megjegyzés: A piros kör a Laskó-patak melletti főbb termálvíz kivételi területet mutatja
 Figure 2. Ground water bodies of the Bükk mountain and Mezőség area (ÉKÖVIZIG 2009)
 Note: The red circle shows the main thermal water abstraction area at the Laskó stream

Települések

A Laskó-patak mentén összesen 21 200 fő él. A patak mentén fekvő települések és településrészek a folyásirány szerinti sorrendben a következők: Szűcs-Bányatelep (Bagólyuk), Szűcs, Egerbocs, Bátor, Egerbakta, Egerszalók, Demjén, Kerecsend, Pusztaszikszó (Füzesabony), Füzesabony, Mezőtárkány, Poroszló, Újlőrincfalva, Sarud (Wikipédia 2021).

A településeken a vízellátást a Heves Megyei Vízmű Zrt. biztosítja. Ugyancsak ez a cég felelős a lakossági szennyvizek összegyűjtéséért és tisztításáért (lásd: „Vízbevezetések” fejezet).

A felső két részvízgyűjtőn (víztesten) jelentősebb ipari tevékenység nincs. A területre főként a mezőgazdasági tevékenység jellemző. Kiemelendő a demjéni iparszerű gombatermesztő üzem, amely európai léptékben is az egyik legnagyobb és éppen nagymértékű fejlesztés alatt áll. A területen jelentős szőlőtermesztés folyik, mely ellátja a térség különböző méretű borászati üzemeit alapanyaggal. Az alsó vízgyűjtőn (víztesten) fontos Füzesabony ipara és jelentős a szántóföldi növénytermesztés. Az ipar legnagyobb százalékát a fémfeldolgozás (70,1%) teszi ki (fémből készült csomagolószerek gyártása). E mellett a MÁV és egy csomagolóeszköz gyártó cég tevékenysége is jelentős.

VÍZHASZNÁLATOK

Víz kivétel

A patakból elsősorban öntözésre vesznek ki vizet, de ennek éves mennyisége elenyésző (1 000 m³). Ezt az engedélyezett vízmennyiséget sem veszik mindig igénybe.

A felszín alatti vízkivételek esetében a termálvíz kivétel a legjelentősebb, de a hidegvíz kivétel is számottevő. A kivett víz mennyiségét és minőségi jellemzőit a termálfürdőkkel foglalkozó fejezetekben tárgyaljuk. A felszín alatti vizek igénybevétele elsősorban egyes termálfürdők és mezőgazdasági ipari tevékenységek esetében jelentős (pl. Egerszalóki Gyógy- és Termálfürdő, Demjéni Barlangfürdő, Demjéni Tófürdő, gombatermesztő és konzervüzem).

Vízbevezetés

Szennyvíz

Egercsehi községben 1965-ben oxidációs-árkos eleveniszapos tisztítómű épült. A kis mennyiségű tisztított szennyvíz befogadója a Laskó-patak. 1994-ben készült el a Bátor-Hevesaranyos-Egerbocs-Szúcs regionális szennyvízgyűjtő rendszer és a batori tisztító mű (300 m³/d). A befogadó szintén a Laskó-patak.

Az Eger városában keletkező, továbbá a környező települések közül Felsőtárkány, Ostoros, Novaj, Egerszólát, Egerszalók és Egerbakta községekből beérkező szennyvizet a város déli részén – az Eger-patak mellett – létesült eleveniszapos technológiájú szennyvíztisztító telepen kezelik. Ezek a tisztított szennyvizet tehát nem szennyezik a Laskó-patakat.

2001-ben adták át a Kerecsend és Demjén települések kommunális szennyvizét tisztító, ugyancsak korszerű eleveniszapos technológiájú szennyvíztisztító telepet (575 m³/d). Ennek befogadója a Laskó-patak, de már a termálvíz bevezetések alatt (*Heves Megyei Vízmű Zrt. 2022*).

A Laskó-patakba mezőgazdasági-ipari eredetű szennyvíz is befolyik a gombatermesztő üzemből és a gomba konzervüzemből, aminek a mennyisége napi 100 m³.

A fő vízhasználatok és az ezekből adódó konfliktushelyzetek főként a patak középső víztestét érintik, ezért ezt részletesebben tárgyaljuk.

A LASKÓ-PATAK KÖZÉPSŐ VÍZTESTÉNEK FŐBB ELEMEI

Az integrált vízgazdálkodási rendszerre, mint mintaterületre elsősorban a Laskó-patak középső vízteste alkalmas, mert ott vannak a legsokrétűbb emberi vízhasználatok és környezetterhelések. Ezért a további munkánkat erre a víztestre koncentráljuk (*1. ábra*). A rendszer főbb elemei a következők:

- Az Egerszalóki Gyógy-, Élmenyfürdő és Termálstrand.
- A Demjén Gyógy- és Termálfürdő.
- A Demjéni Tófürdő.

- Az Egeri Korona Borház (szőlőfeldolgozó, borászat és borpalackozó).
- A Tófürdőhöz és a Borházhoz jelentős vendéglátói kapacitás is társul (hotel, vendégházak, étterem, konyha stb.). Ezeket együttesen vendéglátói létesítményként kezeljük.
- A Borházhoz és a vendéglátáshoz kapcsolódó gyökérmezős szennyvíztisztító és nyárfás szennyvíz elhelyező létesítmény.
- A Demjéni Gombatermesztő Üzem és a hozzá szorosan kapcsolódó konzervüzem.
- A komposzt előállításból, a gombatermesztésből és a konzervüzemből származó kommunális és ipari szennyvizek kezelésére szolgáló gyökérmezős szennyvíztisztító.
- A Demjéni és a Kerecsendi Szennyvíztisztító.

A továbbiakban ezeket a létesítményeket elemezzük, elsősorban vízgazdálkodásuk szempontjából. A Laskóvölgyi-tározó a VGT2-ben nem volt önálló víztest, de a VGT3-ban tóvíztestként különítették el, ezért kissé változtak a víztesthatárok az *1. ábrának* megfelelően. Fontossága miatt ezt a tározót itt, a középső víztestnél tárgyaljuk az alábbiak szerint.

Laskóvölgyi-tározó

A tározó a Laskó-patak vizének felduzzasztására szolgál, elsősorban árvízvédelmi tározó, amit horgászatra és öntözésre is használnak másodlagos céllal (*1. kép*). Vízeresztés az év folyamán általában nem történik. A tározó alatt lévő szakaszon a Laskó-patakban megjelenő víz elsősorban felszín alatti vízből (alap vízhozam) és a gáton átszivárgó tározóvízből származik.



*1. kép. A Laskóvölgyi-tározó látképe
(Fotó: Vajnai 2009)*

*Photo 1. View of the Laskóvölgyi reservoir
(Photo: Vajnai 2009)*

A tározó a patakról leválasztja a felette levő vízgyűjtőt, így jelentősen csökkentve a patak vízhozamát. Eközben a tározóban levő patakvíz kémiai és ökológiai paraméterei megváltoznak: állóvízzé alakul. Nyáron látványos minőségbeli változás megy végbe, amit az algásodás fémjelez (*Vajnai 2009*) (*2. kép*).



2. kép. Cianobaktérium tömegprodukció a Laskóvölgyi-tározóban, 2009. (Fotó: Szilágyi)

Photo 2. Cyanobacterial bloom in Laskóvölgyi Reservoir in 2009 (Photo: Szilágyi)

5. táblázat. A Laskóvölgyi-tározó jellemzői (VGT3 2021)

Table 5. Main characteristics of the Laskóvölgyi Reservoir (VGT3 2021)

Elzárás helye [fkm]	Típusa (völgyzárógátas, medertározó, oldaltározó)	Felület [ha] üzemi, árvízi	Térfogat [m ³] üzemi, árvízi
47,255	völgyzárógátas	121 133	3 900 000 5 000 000
Átjárhatóság (igen/nem)	Duzzasztás nagysága [cm]	Duzzasztás nagysága [cm]	Feltöltés, vízpótlás módja
nem	543	543	gravitációs

Az Egerszalóki Gyógy- és Termálfürdő

A 3. ábrán az egerszalóki komplexum létesítményei és a patakhoz kapcsolódás látható. A fürdő vízforgató medencéit két termálkút táplálja (1 400 m³/d és 3 700 m³/d kapacitással). A két kútból származó vízhozam 60 l/s körüli, jelentős érték. A kutak vízminőségi adatai hasonlóak. Az egerszalóki hőforrás 68,0 °C-os termálvizet hoz felszínre kb. 480 m mélyről. A kitermelt víz kora 18-20 ezer év. Az egerszalóki termálvíz 12 biológiailag nélkülözhetetlen, további 7 kedvező és 11 ismeretlen egészségügyi hatású nyomelemet tartalmaz. Balneológiai vizsgálatok szerint gyógyászati célra alkalmas. Kiváló tulajdonságai miatt 1992-ben a Népjóléti Minisztérium gyógyvízzé nyilvánította. Az egerszalóki hőforrás viszonylag kis sókoncentrációjú, nátriumot is tartalmazó kalcium-hidrogénkarbonátos hévíz, melynek jelentős metakavasav és szulfid-ion tartalma van. A szabad levegőn kihűlő vízből a "felesleges" sótartalom kiválik. A víz Ca²⁺ tartalma CaCO₃ (kalcit, aragonit) formájában válik ki. A forrásmésző domb csupa apró peremből és mögötte kicsi medencékből áll, ugyanilyenek a barlangokban lévő tetarata lépcsők is. Az itt látható forrásmésző domb ritka természeti jelenség. Hasonló nagyságú, szépségű kiválás csak hévizekből lehetséges. Az egerszalóki hőforrás mésztufa dombja szépségében a Világörökség részét képező törökországi kiválásokhoz (Pamukkale) hasonlítható (Vajnai 2009) (3. ábra).

Demjéni Gyógy- és Élmenyfürdő (Barlangfürdő)

A 4. ábrán a Demjéni Barlangfürdő felülnézeti képe látható. A Laskó-patakhoz kapcsolódást is jelöltük. A fürdőkomplexum biztonságos vízellátására két db, 750 m-re

A tározó jellemzőit az 5. táblázat mutatja. Látható, hogy a duzzasztás jelentős hidromorfológiai változást okoz a patakon. Ökológiai szempontból az állóvízzé válás miatt az ökoszisztéma szerkezetének teljes átalakulása, valamint a hosszirányú átjárhatóság megszűnése jelenti a vízi élőlények számára a legjelentősebb változást. Hidrológiai szempontból a 3,9-5,0 millió m³ víz betározása azt jelenti, hogy a patakból 130-160 l/s vízhozam hiányzik évi átlagban. Ez főként a nyári hónapokban okoz gondot a bevezetett termálvizek és szennyvíz szempontjából (hűtővíz és hígító víz hiánya). A tározó árvízvédelmi céllal készült, de az öntözést is szolgálja. A kivett öntözővíz mennyiségét nem ismerjük. Az árvízi tározás ellenére 2019-ben jelentős előntések történtek villámárvíz miatt az alvízi szakaszon (HEOL 2019).

szűrőzött hévízkút áll rendelkezésre. A két kút által lekötött éves vízmennyiség 179 860 m³. A termelt víz mérsékelt ásványi anyag tartalmú, kalcium-hidrogénkarbonátos, kemény, fluoridos, kénes termálvíz, melynek jelentős a metakavasav, a bárium és szabad szénsav tartalma. A nátrium és összes só koncentrációja alacsony. Jellegében e kutak vizének minősége hasonló az egerszalóki hévíz kutakéhoz, mivel ugyanazt a vízáradatot, a bükki termálkarsztot csapolják meg. A fürdőmedencék visszaforgató üzemben működnek, a pótvíz mennyisége összesen 136 m³/d termálvíz és 10,3 m³/d ivóvíz. A fürdő egyéb pótvíz mennyisége összesen 7,91 m³/d termálvíz és 0,72 m³/d ivóvíz. Az öblítővíz és előszűrlet vízigénye termálvízből 7,71 m³/d, ivóvízből 0,68 m³/d. A szennyvizek befogadója a fürdőkomplexum területén levő szennyvízgyűjtő akna, az egyéb használt vizek befogadója pedig egy, a patakba vezető árok (4. ábra).

A Demjéni Tófürdő

Az 5. ábrán a Demjéni Tófürdő és létesítményei láthatók. A Tófürdőt 2016-ban adták át.

Az építkezés nyomán három fürdő épült meg. Ezen kívül két kis medencét (hideg vizes), egy vízi csúszdát és egy sódombot alakítottak ki (5. ábra). A fürdőtavak töltő-ürítő üzemmódban működnek. A sódomb pamukkálás kialakítását az indokolta, hogy a termálkútak a bükki termálkarsztba szűrőztek, jelentős koncentrációban tartalmaznak Ca(HCO₃)₂-ot, amely a felszínre kerülve részben a sódombon válik ki a vízből és attraktívva teszi a létesítményt. A mészkő mellett vas-hidroxid és mangándioxid is kiválik a sódombon, ez színezi azt kissé barnára, sárgás-barnára.



3. ábra. Az Egerszalóki Termálfürdő létesítményei (Google Earth)
 Figure 3. Elements of the Egerszalók Thermal Bath (Google Earth)



4. ábra. A Demjéni Barlangfürdő létesítményei (Google Earth)
 Figure 4. Elements of the Demjén Cascade Thermal Bath (Google Earth)



5. ábra. A Demjéni Tófürdő és vendéglátó komplexum (Google Earth)
 Figure 5. Elements of the Demjén Thermal Lakes for bathing (Google Earth)

A tavak vízellátása egyesített gravitációs vezetéken történik és a két tó között elhelyezett földalatti aknában lévő pillangó szelepekkel lehet szabályozni a tavakba jutó vízmennyiséget. A termálvíz előhűtése az ún. sódombon valósul meg, majd egy keverő akna segítségével jut a gravitációs vezetékbe a víz. A hideg víz beadagolását szükség szerint a központi gépházban lehet szabályozni, és ezen keresztül szabályozható a tavak hőmérséklete is. A tavak vízellátását két termál és egy hideg vizes kút biztosítja. A termál kutakból napi 1 100-1 200 m³ friss víz kerül a tavakba, amelyek a fürdőtó jelleg mellett a hűtőtó funkciót is ellátják. A hideg vizes kutakból különösen nyári időszakban hűtési céllal további 800 m³/d 14 °C-os hideg víz kerül a műtárgyakba. Összességében tehát a fürdőben mintegy 25 l/s hozamú használt víz keletkezik, amely befogadója a Laskó-patak. A mosóvizet és egyéb, szennyvíznek minősülő vizeket külön kezelik, a gyökérmezős telepen tisztítják, végül azok befogadója is a Laskó-patak.

A termálkutat 1 500 m körüli mélységben vannak szűrőzve, a kifolyó víz hőmérséklete 69 °C. A kutak vize jellemzően Ca-Na-hidrokarbonátos, jelentős szabad szénsav tartalommal. Növényi tápanyag tartalmuk alacsony, összes sótartalmuk közepes (900 mg/l körüli). Fontos megjegyezni, hogy a kútvízben redukált vas és mangán vegyületek vannak, valamint a szulfid koncentráció meglehetősen magas (7,8 mg/l). Összességében a kutak vízminősége a bükki meleg termálkarszt jelleget mutatja.

A demjéni gombaüzem és létesítményei

A gombatermesztéshez kapcsolódó létesítményeket a 6. ábra mutatja. A termálkutakból történt vízkivétel elsődleges célja a fürdőtől mintegy másfél kilométerre lévő gombaházak fűtése, amely egy zárt hőcserélő rendszerrel történik. A 82 °C-os termálvíz téli időszakban körülbelül 70 °C-osan, nyári időszakban kb. 80 °C-osan kerül vissza a Tófürdő gépházába (KGIE 2018).



6. ábra. A Demjéni Gombatermesztő Üzem (Google Earth)
Figure 6. Mushroom producing factory at Demjén (Google Earth)

Az Egri Korona Borház

A gombaüzem területén levő hidegvíz kút biztosítja a kb. 1,5 km-re levő Egri Korona Borház és létesítményeinek (hotel, motel, konyha, étterem, borászat stb.) hidegvíz ellátását. E létesítmények fűtése és kommunális meleg víz ellátása az egyik termálkútról történik. A keletkező használtvizek és szennyvizek tisztítása jelenleg a főépülettől DK-re levő terület nádasában megy végbe, majd a kezelt víz elhelyezése ettől a helytől kb. 300 m-re levő nyárfásban történik meg. Az egyes egységek használt vizeinek és szennyvizeinek mennyiségi és minőségi jellemzőit jelenleg nem ismerik.

A borászati üzemek szennyvize a présüzemben, a hordók, tartályok mosásakor, a palackozóban és a palackmosóban keletkezik. A nyers szennyvíz jellemzői: szárazanyag tartalom: 300-3 000 mg/l, BOI₅: 1 000 mg/l. Látható, hogy elég nagy szervesanyag tartalmú szennyvízről van szó. A szennyvizek mellett hulladék is keletkezik a borászatban. Ilyen pl. a törköly, amit takarmány adalékként hasznosíthatnak. Az erjesztő tartály

alján megjelenik a borseprő, amely a bor 3-4%-a is lehet. A borseprő sok értékes anyagot tartalmaz, feldolgozásának alapja az etanol és borkő tartalom, ezért az alkoholt kivonják belőle. Takarmányként is hasznosítható, tápértéke megegyezik a jó minőségű szénáéval. Közvetlen felhasználását gátolja a magas csersav, növényvédőszer és réz tartalom, ezért célszerű a takarmányhoz csak 10%-os mennyiségben adagolni. Az Egri Korona Borházban a borászat melegvíz ellátására termálvizet használnak. A mosási műveletek céljára a gombaüzem területén levő hidegvíz kútból nyomócsővön jön fel a víz egy 40 m³-es koracél tartályba, ahonnan a borászat, az étterem és a hotel hidegvíz ellátása is történik.

Az Egri Korona Borház épületeinek (hotel, vendégházak, étterem, bár stb.) fűtése és meleg víz ellátása termálvízzel történik. A komplexumhoz szükséges hidegvizet saját kút biztosítja a gombaüzem területén. A vendéglátó létesítmények napi vízfelhasználása összesen mintegy 50 m³/d.

Gombatermesztés

Közép-Európa egyik legnagyobb gombatermesztő területén, 45 000 m²-en, közel száz holland típusú automatizált gombaházban, képzett szakemberekkel termesztik a friss, magyar gombát. A tartós frissességet vákuumhűtők, nagyteljesítményű osztályozó és csomagoló sorok, illetve saját szállítóflotta garantálja (KGIE 2018). Alapanyaggyártó üzemekben fehér és barna csiperkegomba komposzt, laska, shiitake és ördögcsékergomba alapanyaggyártás történik. A gombatermesztő üzemet és a konzervüzemet termálvízzel fűtik, a használt termálvíz pedig a Tófürdőbe kerül. A kommunális melegvíz szolgáltatást is a hévíz biztosítja. A mosáshoz, mosogatáshoz és komposzt készítéshez használt hidegvíz a gombaüzem területén levő hidegvíz kútból származik. A gombaüzemi major és a szociális rész 25 m³, az irodák 3 m³ hidegvizet használnak naponta. A konzervüzem 15 m³/d hidegvizet használ, míg a komposztüzem napi vízfelhasználása 10 m³. A kommunális szennyvíz és a használtvizek kezelése a Laskó-patak melletti gyökérmezős szennyvíztisztítóban megy végbe. A gombaüzemben komposztgyártás, gombatermesztés és konzervüzem is működik. Ezeknek a szennyvizét gyökérmezős szennyvíztisztító tisztítja.

Szennyvíztisztítás

A csíraüzemben az ivóvizet a községi hálózatról vételezik, rozsfőzésre, takarításra és szociális célra használják. Az ipari és a szociális szennyvizet külön csatornán gyűjtik. A csíraüzemben 3,3 m³/d ipari szennyvíz és 1,2 m³/d kommunális szennyvíz keletkezik. Az ipari és a kommunális szennyvizet a gyökérmezős tisztítóban kezelik. Üledék- és uszadékfogónak 2 db 30 m³-es vasbeton medence szolgál, ez egyben előkezelő műtárgy is. Az előtisztító egy 80 m²-es szigetelt földmedence, benne 0,4 m vastag 0,2-2 mm-es homokrétéggel. A gyökérmezős szűrőágyak 2 db 42 m²-es, fóliával szigetelt földmedencék, melyek töltőanyaga 1,0 m vastag homokos kavics. Az utótisztító 115 m²-es szigeteletlen földmedence, benne 0,4 m vastag, 0,2-20 mm-es homoktöltet van. A szennyvíz egy műanyag aknás szennyvíz átmenővel jut a telepre. A fertőtlenítő műtárgy egy vasbeton labirint medence 3,4 óras tartózkodási idővel. A fertőtlenítőszer Hypo oldat. A fertőtlenítést a vegetációs időszakban folyamatosan biztosítani kell.

A konzervüzem a vízszükségletét a települési hálózatról elégíti ki, az ipari és a kommunális szennyvíz a szennyvíztisztítóba kerül. A konzervüzemből 100 m³/d ipari szennyvíz származik. A napi szennyvízmennyiség az üledék- és uszadékfogó előkezelőbe jut. Az üzemből 28-30 °C-os víz távozik. Az előkezelés után a víz a 400 m²-es előtisztítóba, majd a 4 x 306 m²-es gyökérmezőkre kerül. Az utótisztító felülete 2 600 m². Az utolsó lépés a fertőtlenítő 3,36 m³-es térfogattal. Az előtisztító, a szűrőágyak szerkezete és a növénytelepítés hasonló, mint azt a csíraüzem esetében leírtuk. Az utótisztító töltőanyaga a hossz első és utolsó negyedében ugyanaz, mint azt korábban leírtuk a csíraüzemnél. A középső részt 1,2 m mély tónak alakították ki. Az első és az utolsó negyed között szűrőtöltés van. A fertőtlenítés Hypoval történik, a behatási idő 27 perc.

A tisztított szennyvizet gravitációs csatornán vezetik a Laskó-patakba a 39+475 fkm-nél. A bevezetés helyén monolit kitorkoló fejet létesítettek, amelynek a környezetét kőszórással biztosították.

A KOMPLEX VÍZHASZNOSÍTÁS LEHETŐSÉGEI A LASKÓ-VÖLGYÉBEN

Ebben a fejezetben a Laskó-völgyre, különös tekintettel annak középső víztestére vonatkozó komplex vízhasznosítási és állapotjavítási intézkedési alternatívákat vázoljuk fel. A további részletesebb kidolgozás azon múlik, hogy a helyi érdekeltek mennyire értékelik konstruktívan az egyes megoldásokat. A Laskó-patak vízgyűjtőjén a komplex vízhasznosítást és víztakarékosságot az alábbi tényezők határozzák meg.

A Laskó-patak felső vízteste a VGT2 szerint az integrált biológiai minősítés szerint gyenge állapotú. Ennek minden bizonnyal a patak kicsi vízhozama, a batori szennyvíz bevezetés (300 m³/d), és a területi bemosódás (belterületi és mezőgazdasági egyaránt) lehet az oka. Ugyan konkrét adat nincs rá, de valószínűleg a patak alap vízhozamát adó talajvíz is szennyezett lehet ezen a területen. E két tényező lehet az oka annak, hogy a patak vízének sótartalma nagy, és növényi tápanyag tartalma is jelentős (mindkettő nagyobb, mint a felszín alatti vizeké).

A patak felső víztestének vize a Laskó-völgyi-tározóba jut, ahol az év túlnyomó részében nincs vízeresztés az alsó szakaszra. A tározó 3,9-5,0 millió m³-es tározott térfogata egész évre elosztva mintegy 120-160 l/s vízhozamot tudna hozzáadni a patak tározó alatti szakaszának vízhozamához. Ez a vízhozam hiányzik az alsó szakaszról. A tározó árvízvédelmi céllal létesült, de öntözési és horgászati célokat is szolgál. Árvízi tározó funkcióját – talán a megfelelő előrejelző és üzemeltető rendszer hiányossága miatt – nem mindig tudja ellátni: 2019-ben Füzesabony és Egerszalók egy része víz alá került egy nagy esőzés után. A tározóra nem készült a VGT2-ben állapotminősítés adathiány miatt. A tározóban a víz minősége jelentős mértékben megváltozik: a lebegőanyag nagy része kiülepszik, a tápanyag koncentráció csökken, a nagyjából biogén sókiválás miatt az oldott anyag tartalom és a vezetőképesség is jelentősen csökken. Nyáron nagymértékű algásodás figyelhető meg a tározóban, melyre elsősorban a cianobaktérium tömegtermékek jellemzőek (2. kép). A tározónak jelentős térfogata miatt nagy szerep kellene, hogy jusson az alvízi szakasz vízellátásában. Ehhez azonban az üzemeltetést át kellene gondolni, és az egymással sokszor ellentétes érdekeket össze kellene hangolni. Ez nemcsak műszaki, de gazdasági intézkedéseket is jelent. Az árvízi biztonságot megfelelő előrejelző rendszerrel javítani lehetne, és nagy esőzések előtt a tározót elő kellene üríteni. Ehhez jelenleg nincs meg a megfelelő monitoring, modell és automatikus zsilipszabályozás. A horgászat érdekei az árvízi biztonság és a megfelelő alvízi hígítóvíz hozam biztosítása ellen hatnak.

A tározó alatti mederszakasz vízminőségét ismét a szennyezett talajvizek és a területi lefolyás határozza meg egészen a termálvizek bevezetéséig (magas sótartalom, nagy vezetőképesség, jelentős tápanyag koncentrációk

stb.). A használt hévíz bevezetések a patakra jelentős hatást gyakorolnak, mivel hozamuk összességében nagyobb a patak vízhozamánál és hígítóvizet nem kapnak a tározóból. A patak ökológiai jellege alapvetően megváltozik a melegvíz bevezetések miatt. A bükki meleg karsztból származó víz Ca-hidrokarbonátos, vezetőképessége és sótartalma alacsonyabb a patakénál. Növényi tápanyag tartalma kicsi, mikroszennyezőket legfeljebb határérték alatt tartalmaz néhány esetben, de a legtöbb mikroszennyező nem is mutatható ki. A legnagyobb hatást a patakban a hőterhelés okozza a használt hévíz bevezetése miatt. A 30 °C-os előírt határértéket a bevezetett víz zömmel tudja tartani, de a patak hőmérsékletét a hévíz – különösen a hidegvízi időszakban – jelentősen megnöveli a kismértékű hígulás miatt, ezért az előírt ΔT főleg télen nem teljesül (*Gulyás 1981, VGT2 2015*). A hévíz az élőlény társulásokban a patakra nem jellemző változásokat okoz, pl. a fonalas cianobaktériumok tömeges jelenléte miatt (*4. kép*).

Amint azt a korábbi fejezetben bemutattuk, az egerszalóki termálvíz bevezetés vízhozama összemérhető a patak alap vízhozamával. Ehhez adódik hozzá a Demjéni Barlangfürdő által kibocsátott használt termálvíz, amely vízhozama valamivel kisebb, mint az egerszalókié. Ez után következik a Demjéni Tófürdő használt víz bevezetése nagyjából 25 l/s vízhozammal. További terhelést jelent a középső víztesten bevezetett gombaüzemi gyökérszórás szennyvíztisztító (100 m³/d), és a Demjén-Kerecsendi Szennyvíztelep tisztított szennyvize (575 m³/d). Ezek hőterhelésben nem számíthatnak, de szennyezőanyag terhelésben jelentősek. Jó példa a patak állapotának védelmében, hogy az Egri Korona Borház és kapcsolt létesítményeinek szennyvizét nem a patakba vezetik, hanem gyökérmezős telepen tisztítják, majd nyárfásban helyezik el. Így ez a szennyvíz sem a patakot, sem a felszín alatti vizeket nem szennyezi. Ez a létesítmény hatósági kritikát kapott, de nem a módszerrel van baj, hanem a méretezéssel és az üzemeltetéssel.

Összességében a patakot a középső víztesten jelentős hidrológiai és hőterhelés éri. Gyakorlatilag a Laskó-völgyi-tározó által leválasztott vízgyűjtő vízhozamának több mint felével egyenértékű használt termálvíz betáplálást kap a patak, ugyanakkor jelentős a hőterhelése, ami az élővilágát kedvezőtlenül befolyásolja. Mivel kicsi a használt hévizek hígulása, a 30 °C-os határérték tartás ellenére is jelentős a ΔT értéke, főleg télen (legfeljebb 8-11 °C hőmérséklet különbség volna elfogadható (*Gulyás 2001, VGT 2009*)). Az alsó víztesten elsősorban szántóföldi művelés folyik, ahol a gyakoribbá váló aszályok, a csökkenő éves csapadékmennyiség, valamint annak időbeni egyenetlenségének növekedése indokoltá tenné a kedvezőtlen események eleni védekezést.

Az integrált vízgazdálkodásra és a komplex termálvíz hasznosításra jó példa a Demjén térségében már meglévő gyakorlat. Ezt a gyakorlatot kellene továbbfejleszteni és víztakarékossági intézkedésekkel kiegészíteni az integrált vízgazdálkodási gyakorlat szellemében. A demjéni Egri Korona Borház és kapcsolódó létesítményeiben a termálvizet és a hideg kútvizet változatos célokra hasznosítják (fűtés, fürdés, ásványvíz, szociális melegvíz szolgáltatás,

étterem kiszolgálása stb.). Az egyes vízhasználatok gyakran egymásra épülnek. Például a gombaházak fűtésére használt meleg vizet használják a termáltavak feltöltésére, a hőmérséklet beállítását hidegvíz bekeveréssel végzik. A gombaházakban használt fűtővizet a házak tisztítására, az útfelületek mosására használják fel. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy a vízhasznosításban még további lehetőségek rejlenek.

A továbbiakban a Laskó-völgyi lehetőségeket vesszük sorra. Alternatívákat vizsgálunk, melyek az integrált vízgazdálkodás, a víztakarékosság, a kontrollált vízpótlás és víz újra felhasználás irányába mutatnak.

VÍZFOLYÁS-SZINTŰ ÁLLAPOTJAVÍTÓ INTÉZKEDÉSEK

Hidromorfológiai intézkedések

Mint láthattuk, már a Laskó-patak felső vízteste sem éri el a biológiai jó állapotot. A VGT2 intézkedéseket határoz meg azokra a víztestekre, amelyek nincsenek jó állapotban. A végrehajtás határideje 2027. év. A patak felső és alsó víztestére azonos intézkedési típusokat állapítottak meg a VGT2-ben. Ezek elsősorban a mezőgazdasági eredetű tápanyag szennyezés csökkentésére, az állattartó telepekből származó terhelés mérséklésére, a belterületi lefolyásból származó terhelés csökkentésére, valamint a talajerózióból és/vagy felszíni lefolyásból származó tápanyag- és hordalékterhelés csökkentésére irányulnak. Megemlítik még a patakba folyás előtti tározást a hordalék és a tápanyag kiszűrésére (pl. torkolat előtti szűrőmezők a befolyó vízfolyásokon). Ezekben az intézkedésekben kívül azonban még sok más lehetőség is adódik az állapot javítására, ezeket vesszük sorba.

A bemosódás és az erózió által okozott gondok enyhítésére a szűrőmezők és a tározók mellett a depónia létesítése is hasznos ott, ahol ez még nincs (felső és középső víztest). A depónián átszűrődik a víz és a szilárd részecskék nem jutnak a patakba. A szűrés egyben csökkenti egyes oldott anyagok terhelését is. Ugyancsak hasznos lenne egy 30-50 m széles védősáv kialakítása a patak két oldalán végig. Ezzel a diffúz terhelések mintegy 50-80%-a kiszűrhető lenne.

A patak medre végig szabályozott, hidromorfológiai állapota több okból sem jó. A meder a felső szakaszon trapéz, az alsó szakaszon osztott trapéz alakú. Ez az élőlény együttesek számára kedvezőtlen, mert kicsi a patak élőhely diverzitása, nincs meg a keresztirányú átjárhatóság stb. Ezen lehetne javítani mérnök-ökológiai módszerekkel, de a költségigénye nagy lenne. Ugyanakkor a jelenlegi meder erősen benövényesedett, néhol erodált, karbantartása szükséges volna árvízvédelmi és ökológiai okok miatt is.

A másik hidromorfológiai probléma a Laskó-völgyi-tározóval kapcsolatos. Ez a tározó a patak élőlények általi átjárhatóságát megszünteti, a folyóvízből állóvíz lesz, és szinte teljesen levágja a patak felső vízgyűjtőjét. Ezt a problémát kezelni lehetne a tározó üzemirányításának olyan módosításával, amely figyelembe veszi az alatta levő szakasz ökológiai igényeit is. Ugyancsak javítani lehetne a tározó árvízvédelmi szerepének jobb ellátását az üzemirányítás és a hidrológiai előrejelzés fejlesztésével. A

tározó víztömegének egy részét fel lehetne használni – főként a nyári időszakban – a középső víztesten bevezetett nagyon jelentős hévízhozamok hígítására is. Ehhez azonban a meglévő érdekek és használatok összehangolására volna szükség.

Szennyvízkezelés

A Laskó-patakot érő szennyvíz bevezetéseket illetően a patak állapotának javítására a legjobb hozzáférhető technológia alkalmazása javíthatna a patak vízminőségén. Egerbakta, Egerszólát stb. példája mutatja, hogy a tisztított szennyvíz kivezetése a vízgüjtőről adná a legjobb megoldást, jóllehet, ez a terhelések áthelyezését jelenti, továbbá nagy költséggel járna. Ugyanakkor a 300 m³/d kapacitású bátori szennyvíztelep a patak felső szakaszán a vízminőséget jelentős mértékben rontja. Részben a szennyvíz, részben pedig a diffúz szennyezések miatt robban be nyáron a Laskóvölgyi-tározó cianobaktériumos eutrofizálódása.

A települési szennyvizek kezelése, vagy elvezetése a Laskó-patak felső és alsó szakaszán (Egerszólókig, és Demjén alatt) megoldott, legfeljebb a technológia javításán érdemes gondolkodni. A Demjéni Barlangfürdő szennyvizei a község közcsatornájába kerülnek és ezeket a Demjén-Kerecsend közös szennyvíztelepen tisztítják. A középső víztesten az Egri Korona Borház, a Tófürdő és a gombatermesztő üzem szennyvizeinek tisztítására elméletileg három alternatíva kínálkozik:

- A jelenlegi két természet-közeli szennyvíztisztító rendszer rekonstrukciója és kibővítése. Az előkezelővel, elő- és utótisztítóval kombinált gyökérmezős szennyvíztisztítók – megfelelő tervezés esetén (műszaki irányelv van rá) a hatóság szerint is biztosítani tudják az elvárt határértékeket.
- Rácsatlakozás a Demjén – Kerecsend gerincscatornára, és a szennyvizeket a kerecsendi szennyvíztisztító kezeli. Ennek műszaki megvalósíthatóságát még nem vizsgálták.
- Új, eleveniszapos SBR rendszerű szennyvíztisztító építése a komplexum területén, a tisztított szennyvíz befogadója a Laskó-patak. Erre a műszaki megoldásra nagyszerű terv készült. Itt tisztítanak a demjéni komplexum összes szennyvizét.

A gyökérmezős szennyvíztisztítók beruházási és működési költsége lényegesen alacsonyabb, mint az eleveniszapos technológiáé. Télen is működőképesek, és jól bírják a változó terheléseket. Tervezésük és megépítésük egyszerű, működtetésük kevesebb, de más jellegű ismereteket kíván, mint ami az eleveniszapos telepeknél elvárható. Két lehetőség is van: (1) A demjéni komplexum szennyvizeinek tisztítása a gombaüzem mellett; (2) A jelenlegi két gyökérmezős tisztító rekonstrukciója (borház és gombaüzem), majd a tisztított szennyvíz nyárfás elhelyezése, illetve előntözése, figyelembe véve a vonatkozó rendeletek előírásait. A rekonstrukcióhoz, a bővítéshez és a kiegészítő elhelyezéshez a terület rendelkezésre áll a gombaüzem mellett. Ugyanakkor biztonságosabb megoldás lenne egy központi szennyvíztisztító.

A második alternatívát talán a legegyszerűbb megvalósítani műszakilag, ugyanakkor a rácsatlakozás kiépítésén

kívül a bevezetett szennyvíz meg kell, hogy feleljen a közcsatorna rendelet előírásainak, és a szennyvíztisztítás után csatornadíjat kell fizetni.

A harmadik alternatíva szennyvíztisztító építése három ütemben a saját területen. A tervezett SBR technológia – megfelelő színvonalú üzemeltetés esetén, vagy automatikus működéssel – alkalmas a keletkező szennyvizek határértékre tisztítására. Az eleveniszapos, kis kapacitású technológiák működtetése azonban nagy szakértelmet és odafigyelést kíván, ugyanakkor beruházási és működési költségük nagyobb, mint a természet-közeli telepeké. A javasolt technológiát a hatóság is jobban elfogadja. Ugyanakkor kérdés, hogy a három fázisban történő kiépítés közben mindig meglesz-e az anyagi fedezet a folytatásra, illetve, hogy a teljes kiépítésig hogyan alakulnak az elfolyó víz minőségi értékei.

Használt termálvizek kezelése

A Laskó-patak középső víztestén legalább három ponton történik jelentős használt termálvíz bevezetés: Egerszólók, Demjéni Barlangfürdő, Demjéni Tófürdő. Amint azt korábban láttuk, ezek a bevezetések darabonként is összemérhetők a patak alap vízhozamával. Mivel ezek a termálvizek a bükki termálkarsztból származnak, sótartalmuk 1 000 mg/l alatti, és jellemzően Ca-hidrokarbonátos vizekről van szó. Szervetlen mikroszennyezőket legfeljebb a geológiai háttér erejéig tartalmaznak. Hőmérsékletük azonban egész évben 30 °C körüli, vagyis ezek a vizek – különösen a téli időszakban – jelentős hőterhelést, sőt hőszokkot jelentenek a patak élőlény együttese számára. Csak az egerszólóki bevezetés hatása 12 km-en át érvényesült (*Vajnai 2009*), a három bevezetés együttesen feltehetően a torkolatig hatást gyakorol a patak állapotára (feltevés, mérések nélkül). Mit tudnánk tehát kezdeni a használt termálvizekkel?

Az egyik lehetőség a víz visszaforgatás alkalmazása. Láthattuk az Egerszólóki Gyógyfürdő és a Demjéni Barlangfürdő esetében, hogy a kisebb medencéknél alkalmazott víz visszaforgatás jelentősen csökkenti a felhasznált hévíz mennyiségét anélkül, hogy a minőségén rontana. Ha ezt a megoldást alkalmazzák a jelenleg töltő-ürítő üzemmódban működő medencék esetében, az jelentős vízkészlet és fertőtlenítőszer megtakarítást, valamint a patakot érő hőterhelés jelentős csökkenését eredményezné. Ezzel a módszerrel a hűtésre használt hidegvíz mennyisége is csökkenthető lenne.

A másik lehetőség szintén a termálfürdőkön belül adódik, ez pedig a hőcserélők alkalmazása. Ennek fejlettebb megoldása a hőszivattyú, amellyel hőt vonhatunk el a használt vízből és azt felhasználhatjuk a fürdőben. Ezzel egy időben a patak hőterhelése is csökkenne. Ezeknek a műszaki megoldásoknak a létjogosultságát, megvalósíthatóságát az adott helyzetet figyelembe véve elemezni kell.

A harmadik lehetőség már a fürdőkön kívül adódik. A használt vizet fürdőnként, vagy összevontan egy tározóban kellene összegyűjteni, vagy három külön tározóban. A tározókat mintegy 30 napos tartózkodási időre és legfeljebb 1,5 m-es vízmélységre kellene méretezni. A tartózkodási idő alatt a használt termálvízben az alábbi változások mennének végbe:

- A tóban a víz tovább hűlne, és a patakba vezetett víz hőmérséklete alig lenne nagyobb, mint egy természetes tóé.
- A termálvízben levő szabad szén-dioxid kilevegőzhetne, illetve felvehetnék a növények. Ennek következtében a tóvízben a szervesanyagok (oldott CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , CaCO_3 rendszer) mészkő kiválás közben egyensúly-közeli állapotba kerülhetne, csökkentve ezáltal a használt hévíz sótartalmát.
- Ezt a folyamatot a tavak vízi növényei gyorsíthatnák (biogén mészkő kiválás).
- Tulajdonképpen most is hasonló folyamat játszódik le a sódombokon (Egerszalók, Demjén) és a töltő-ürítő medencékben, csak az egyensúly ott még nem áll be, mert rövid a víz tartózkodási ideje.
- Ezzel a módszerrel a patak hő- és sóterhelését lehetne csökkenteni. A hűtőtavak horgászati, vagy halászati célra hasznosíthatók lennének. Ugyanakkor a tavakban levő víz egyéb célra is használható lenne (lásd: alább).
- Mindhárom fürdő esetében van megfelelő nagyságú terület a tavak kialakítására, a baj csak az, hogy ezek a területek magánkézben vannak.

A termálvizet direkt módon öntözési célra nem lehet használni az alábbi okok miatt:

- Hőterhelésük nagy.
- Az öntözőrendszerben sókiválás, sólerakódás történne, ami rövid idő alatt használhatatlanná tenné az öntözőrendszert. Ez a folyamat ma is látványosan megfigyelhető a Demjéni Fürdő kifolyó csövében (3. kép). A sókiválás CaCO_3 elsősorban, de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ és MnO_2 is kiválik.
- A használt termálvíznek a növényi tápanyag tartalma nagyon csekély.



3. kép. Sókiválás és cianobaktériumok a Demjéni Barlangfürdő kifolyó csövében (Fotó: Szilágyi)

Photo 3. Salt precipitation and cyanobacteria in the outflow pipe of the Demjén Cave Spa (Photo: Szilágyi.)

Amennyiben a sódombon és a fürdőmedencékben megkezdődött a sókiválás, az a tavakban befejeződhetne. A tavak vize még az EP (2018) rendelet tervezet szerinti határértékeket is tartani tudná, és bizonyos termények öntözésére, valamint talajvízpótlásra felhasználható volna

akár közvetlenül, akár fertőtlenítés után. Még a szőlőültetvények csepegtető öntözése is szóba jöhetne. Ennek a lehetőségnek tovább gondolása indokolt, mivel a megfelelő minőségű öntözővízre egyre nagyobb szükség lesz a változó éghajlatunk miatt. Az alacsony tápanyagtartalmat a használt termálvízben könnyen pótolni lehetne, vagy műtrágya adagolással, vagy pedig bizonyos mennyiségű tisztított szennyvíz hozzákeverésével.

Az esetleges komplex vízgazdálkodási fejlesztésekhez, illetve a borászati- és gombatermesztési szennyvizek technológiai kibocsátási határértékei jövőbeni bevezetésének lehetőségéhez egyszerűsített gazdasági számítás végzése javasolt.

Az integrált vízgazdálkodás lehetséges kerete

A fentiekből látható, hogy e kis patak vizét mennyiségi és minőségi szempontból mennyi tényező és felhasználó módosítja. A legfontosabb megállapítás az, hogy a patak VKI szerinti jó állapota nem érhető el a sok esetben ellenérdekeltektől vízfelhasználók összefogása és kompromisszum készsége nélkül. Ennek lehetne a hatékony megvalósítási módja egy vízgyűjtő szintű szövetség létrehozása, amelyben minden vízfelhasználó képviselheti magát. Ennek a szövetségnek számos előnye volna:

- Koordinálhatná a különböző vízhasználók mennyiségi és minőségi igényeit.
- Működési keretet adhatna a kompromisszumok megkötésére az ellenérdekeltektől felek között.
- Teret adhatna az érdekek összehangolására akár technikai, akár gazdasági értelemben.
- Támogathatná a VKI szerinti jó állapot elérését a megszabott határidőre (2027).
- Elősegíthetné a rendelkezésre álló vízkészletek észszerű felhasználását és újrahaznosítását célzó EP (2021) rendelet céljainak megvalósulását.
- Keretet adhatna a támogatási lehetőségek összehangolt és céltudatos, vízgyűjtő szintű megpályázására, amellyel a nyerési esélyek jelentősen javulhatnak.

Hasonló vízgyűjtő szövetségre már volt példa hazánkban is a tatai Öreg-tó és az Által-ér kapcsán, ahol a fő szennyezők a vízfolyás felső folyásán voltak megtalálhatók, míg a jó vízminőséget igénylő Öreg-tó inkább az alsó folyáshoz volt kapcsolható (Szilágyi 1992). Ez a szövetség hosszú ideig meghatározta a fejlesztések irányát az Által-ér vízgyűjtőjén.

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tanulmányban összefoglaltuk az integrált vízgazdálkodás lehetőségeinek egy részét a Laskó-patak vízgyűjtőjén. Különös hangsúlyt fektettünk a Laskó-patak középső víztestére, ahol nagyon jelentős termálvíz hasznosítás folyik. A használt vizek befogadója a patak.

Elemeztük a patak vízgyűjtőjét, a három víztest jellemzőit, minősítésüket és bemutattuk a főbb vízhasználatokat. A patak középső vízteste esetében leírtuk a komplex rendszer főbb elemeit, majd elemeztük a róluk meglévő adatokat és információt.

Bemutattuk a fő termálvíz használó létesítményeket, és a használt vizük bevezetésének hatását a Laskó-patakra.

Rámutatunk az egész rendszer monitorozási problémáira és az ebből adódó adathiányokra.

A Laskó-patak középső víztestén több jelentős vízhasználat történik, melyből a használt vizek a patakba kerülnek. Elemeztük azokat a lehetőségeket (műszaki, technológiai és vízgazdálkodási vonatkozásban egyaránt), amelyekkel a Laskó-patak jelenlegi nem jó állapota javulhatna, illetve a használt víz felhasználásából egyéb előnyök is származhatnának a közösség számára. Számos esetben szembesültünk adat és információ hiánnyal, amit a jövőben egy jól megtervezett monitoring rendszer keretében pótolni lehetne.

E kis patak vizét mennyiségi és minőségi szempontból számos tényező (szennyvízterhelés, hőterhelés, horgászat, öntözés stb.) és felhasználó módosítja. A legfontosabb megállapítás az, hogy a patak jó állapota nem érhető el a sok esetben ellenérdekelte vízfelhasználók összefogása nélkül. Szükség volna egy vízgyűjtő szintű szövetség létrehozására, amelyben a célirányos kompromisszumok és a víz újrahajósítási elvek megvalósulhatnak.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A Szerző köszönetét fejezi ki néhai prof. dr. Rác László nyugalmazott tanszékvezető egyetemi tanárnak, akitől sokat tanult a Laskó-patak vízgyűjtőjén levő vízhasználatok problémakörével kapcsolatban, és akivel éveket jó munkakapcsolatban lehetett. Emlékét őrizze e tanulmány!

Köszönöm a lektoroknak a kézirat alapos bírálatát és a hasznos észrevételeiket, Murányi Gábornak az ábrák szerkesztésében nyújtott technikai segítségét, és dr. Csutorás Csabának a cikk megjelenésének elősegítését.

IRODALOMJEGYZÉK

ÉKÖVIZIG (2009). Az *ÉKÖVIZIG* területén levő víztestek jellemzése a meglévő adatbázis alapján. *ÉKÖVIZIG*, Miskolc, kézirat.

EP (2018). Javaslat, az Európai Parlament és a Tanács rendelete a víz újra felhasználására vonatkozó minimumkövetelményekről. {SEC(2018) 249 final} - {SWD(2018) 249 final} - {SWD(2018) 250 final}, Európa Parlament, kézirat.

Gulyás P. (1981). A hőszennyezés komplex hatásainak meghatározása. – VITUKI témabeszámoló, kézirat, téma-szám: 721/3/18, azonosító: 3763.

GWP (2011). What is IWRM? <https://www.gwp.org/en/GWP-CEE/about/why/what-is-iwrm/>, (Letöltés dátuma: 2022. 01. 15.).

GWP (2014). GWP Strategy Toward 2020 – Global Water Partnership (GWP) Integrated Water Resources Management Tool Box. http://www.gwp.org/en/learn/iwrm-toolbox/About_IWRM_ToolBox/, (Letöltés dátuma: 2022. 01. 15.).

A SZERZŐ



SZILÁGYI FERENC PhD, okl. biológia-kémia szakos középiskolai tanár, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kara Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszékének címzetes egyetemi tanára. Fő szakterülete a hidrobiológia, vízgyűjtő-gazdálkodás, vízminőség-szabályozás, Víz Keretirányelv. A Magyar Hidrológiai Társaság (MHT), a Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség és a Budapesti és Pest Megyei Mérnöki Kamara tagja, szerkesztőbizottsági tag a Hidrológiai Közlöny és a Journal of Fisheries Science folyóiratoknál.

HEOL (2019). Heves Megyei Hírportál, Eger, <https://www.heol.hu/kozelet/helyi-kozelet/otthonokat-udvarokat-ontott-el-a-vasarnapi-arviz-megyenkben-fotok-1783316/>, (Letöltés dátuma: 2022. 01. 15.).

Heves Megyei Vízmű Zrt. (2022). <https://www.hmvizmurt.hu/index.php/szolgaltatasaink>, (Letöltés dátuma: 2022. 01. 15.).

Ijjas I. (2014). Integrált vízgazdálkodás tervezés. E-jegyzet a hallgatók számára. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. www.vit.bme.hu.

Ijjas I. (2019). Integrált vízgazdálkodás. A hidrinformatika születése – európai és globális integráció. Typotex Kiadó, Budapest, ISBN 978 963 493 0631 pp. 415.

Korona Gomba Ipari Egyesülés (KGIE) (2018). https://www.koronagomba.hu/Friss_gomba.html, (Letöltés dátuma: 2022. 01. 15.).

Liebe P. (szerk.) (2001). Termásvízkezeléseink, hasznosításuk, védelmük. – Tájékoztató, a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium megbízásából készítette a VITUKI Rt. Hidrogeológiai Intézete, Budapest 2-8.

Somlyódy L. (2011). A világ vízdilemmája. Magyar Tudomány, MTA, Budapest, 172. évf. 2011(12)., p. 1411-1424.

Somlyódy L. (2018). Felszíni vizek minősége: Modellezés és szabályozás. Typotex Kiadó, Budapest, ISBN 978 963 279 983 4, pp. 371.

Szilágyi F. (1992). A tatai Öreg-tó vízminőség-szabályozása. - *Limes* 2: 5-28.

UN Water (2015). Eliminating Discrimination and Inequalities in Access to Water and Sanitation. UNDP Report, 2015.

Vajnai J. (2009). Használt hévíz bevezetésének vizsgálata felszíni vízbe. BME VKKT diplomadolgozat, kézirat.

VGT2 (2015). Magyarország felülvizsgált, 2015. évi Vízgyűjtő-gazdálkodási Terve. BM-OVF. <http://vizeink.hu/korabbi-vizgyujto-gazdalkodasi-tervek/vizgyujto-gazdalkodasi-terv-2015/>, (Letöltés dátuma: 2022. 01. 15.).

VGT3 (2021). Magyarország második felülvizsgált, 2015. évi Vízgyűjtő-gazdálkodási Terve. BM-OVF. <https://vizeink.hu/vizgyujto-gazdalkodasi-terv-2019-2021/>, (Letöltés dátuma: 2022. 01. 15.).

WFD (2000). Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC Establishing a framework for community action in the field of water policy. European Union, Luxembourg PE-CONS 3639/1/00 REV 1.

Wikipédia (2021). Laskó-patak. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Lask%C3%B3-patak>, (Letöltés dátuma: 2022. 01. 15.).

Wikipédia (2018). Integrált vízgazdálkodás https://hu.wikipedia.org/wiki/Integr%C3%A1lt_v%C3%A1z_gazd%C3%A1lkod%C3%A1s, (Letöltés dátuma: 2022. 01. 15.).

A villámárvíz valószínűségének becslése kétváltozós Markov-lánccal

Fekete Árpád

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, Vízépítési Tanszék (E-mail: Fekete.Arpad@uni-nke.hu)

Kivonat

Magyarországon egyre fontosabbá válik a hegy- és dombvidéki folyók, patakok árvizeinek a vizsgálata, modellezése. Éghajlatunk változásával egyre gyakoribbá válnak a heves lefolyású és súlyos következményekkel járó időjárási események, melyeket nehéz előre megjósolni. Ilyenek például az intenzív konvektív csapadékesemények is, amelyek a hegy- és dombvidékeken hirtelen árvizet okoznak. Ezt a jelenséget a nemzetközi szakirodalom villámárvíznek (angolul flash flood) nevezi. A Dél-Dunántúlon, illetve Pécs környékén az utóbbi évtizedben több alkalommal is voltak villámárvíz jellegű árvízi események. Ezzel összefüggésben a Baranya-csatorna példáján mutatjuk be számítási modellünket a villámárvíz valószínűségével kapcsolatban, mivel erre a vízfolyásra álltak rendelkezésünkre egyidejűleg a vízhozam és a csapadék adatok.

A Markov-lánccokat már az 1960-as évektől használták vízhozamok előrejelzésére. Alkalmazásuk nagy előnye, hogy az adatsorokra legjobban illeszkedő valószínűségi eloszlások nélkül is kiszámíthatók az adatsorokkal kapcsolatos események valószínűségei a jövőre vonatkozóan. A csapadék és a vízhozam egyidejű szerepeltetése a láncban, mint kétváltozós Markov-lánc csak az 1990-es évektől jelenik meg az árvizek sztochasztikus megközelítésében. Magyar nyelvű szakirodalomban eddig nem olvashattunk erről a módszerről és alkalmazásáról, ezért célunk ennek a valószínűség-számítási modellnek a szemléletes bemutatása és alkalmazása egy hazai vízfolyás (Baranya-csatorna) vízhozam adatainak előrejelzésében.

Kulcsszavak

Villámárvíz, sztochasztikus folyamat, kétváltozós Markov-lánc, kategorizáció, K-közép algoritmus.

Estimation of flash flood probability with bivariate Markov chains

Abstract

In Hungary, the study and modelling of floods in mountainous and hilly rivers and streams are becoming increasingly important. As our climate changes, weather events with severe consequences are becoming more frequent and it is difficult to predict them. Such an example is the intense convective precipitation which causes flash floods in mountainous and hilly areas. There were several flash flood events in Dél-Dunántúl (Southern Transdanubia) and around Pécs in the last decade. In this context, we present our calculation model for the probability of flash floods using the example of the Baranya Canal, as the streamflow and precipitation data were available for this watercourse in the same period of time.

Markov chains have been used to predict streamflows since the 1960s. The advantage of their application is that the probabilities of events related to the data series can be calculated even without the probability distributions fitting the data series the best. The simultaneous inclusion of precipitation and streamflow in the chain as a bivariate Markov chain has only appeared in the stochastic approach to floods since the 1990s. We have not been able to read about this method and its application in the Hungarian literature so far, so our aim is to illustrate and apply this probability calculation model in forecasting of the streamflow of a Hungarian watercourse (Baranya Canal).

Keywords

Flash flood, stochastic process, bivariate Markov chain, categorization, K-Means algorithm.

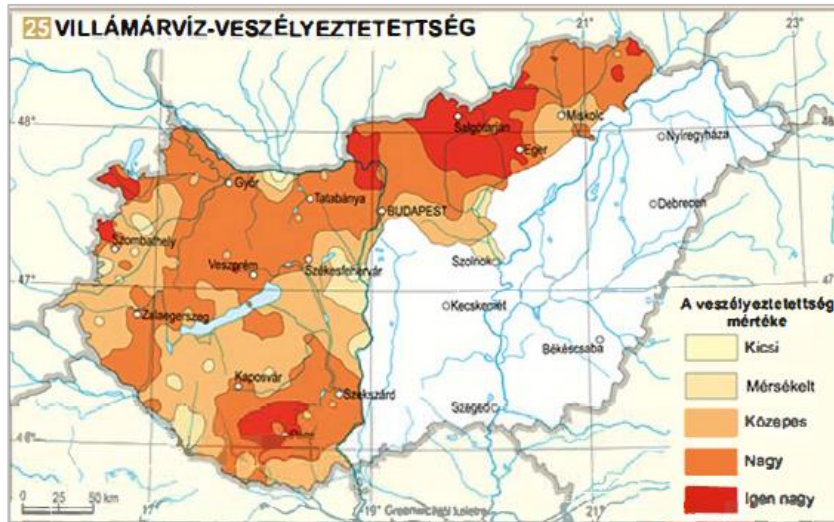
BEVEZETÉS

A klímaváltozással kapcsolatos kutatások alátámasztották, hogy a jövőben az extrém csapadékesemények gyakorisága várhatóan megnövekszik, vagyis a rövid időn belül, hirtelen nagy mennyiségű csapadék hullása valószínűbbé válik (Bartholy és Pongrácz 2005). A nagycsapadékok következtében kialakuló villámárvizek mind gyakoribbak nem csak világszerte, de Magyarországon is. A legjelentősebb villámárvizek az Északi-középhegység és a Dunántúli-dombság, kiemelten a Mecsek területéhez kötődnek (Czigány és társai 2013). Szemléletesen mutatja ezt a Magyarország Nemzeti Atlaszában közreadott Villámárvíz-veszélyeztetettségi térkép (1. ábra).

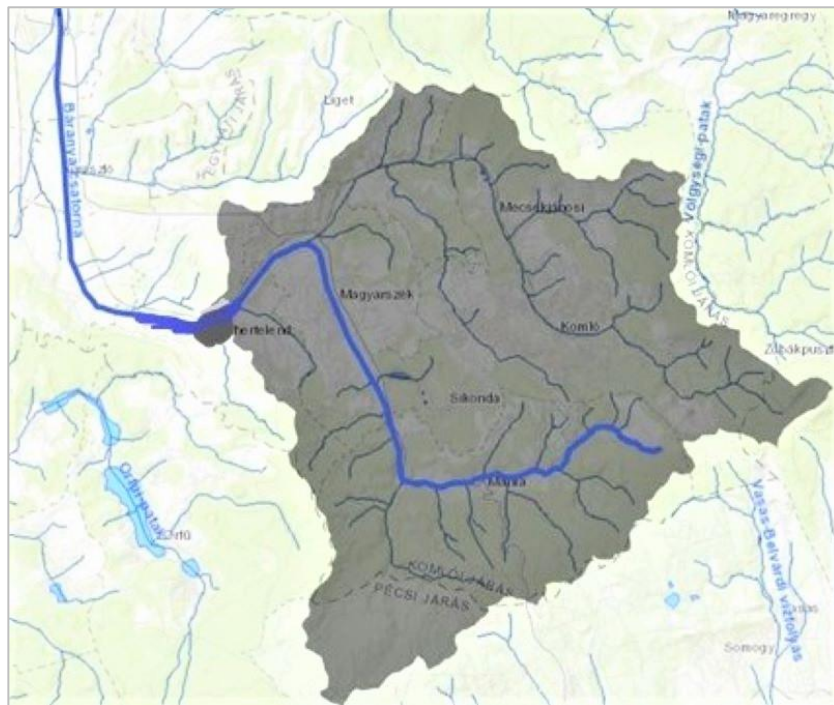
A Dél-Dunántúlon, illetve Pécs környékén az utóbbi évtizedben több alkalommal is voltak villámárvíz jellegű árvízi események (Hegedűs és társai 2013). A Dél-

Dunántúl egyik legpusztítóbb hirtelen árvize 2010. május 15-17-én következett be. Május 17-én Pécs-Meszes városrész utcáin árvíz vonult le, több ház és utcát megrongálva, míg Csikóstöttösön 65 embert telepítettek ki és a fő közlekedési utat több napra lezárták. Ezekkel összefüggésben a lehetséges villámárvizek valószínűségeinek számításához, azaz a kétváltozós Markov modell bemutatásához a Baranya-csatornát választottuk ki.

Magyarország tájainak rendszertani felosztása szerint a Baranya-csatorna vízgyűjtőterülete (2. ábra) a Dunántúli-dombság nagytáj, a Mecsek és Tolna–Baranyai-dombság középtáj, Mecsekvidék kistájcsoporton belül a Mecsek-hegység és a Baranyai-Hegyhát kistájon helyezkedik el. Határai: E-on a Kapos folyó, Ny-on a Zselic, K-en a Völgység, D-en a Mecsek (Dövényi szerk. 2010).



1. ábra. Villámárvíz-veszélyeztetettség Magyarországon (Szabó és társai 2018)
Figure 1. The risk of flash floods in Hungary (Szabó et al. 2018)



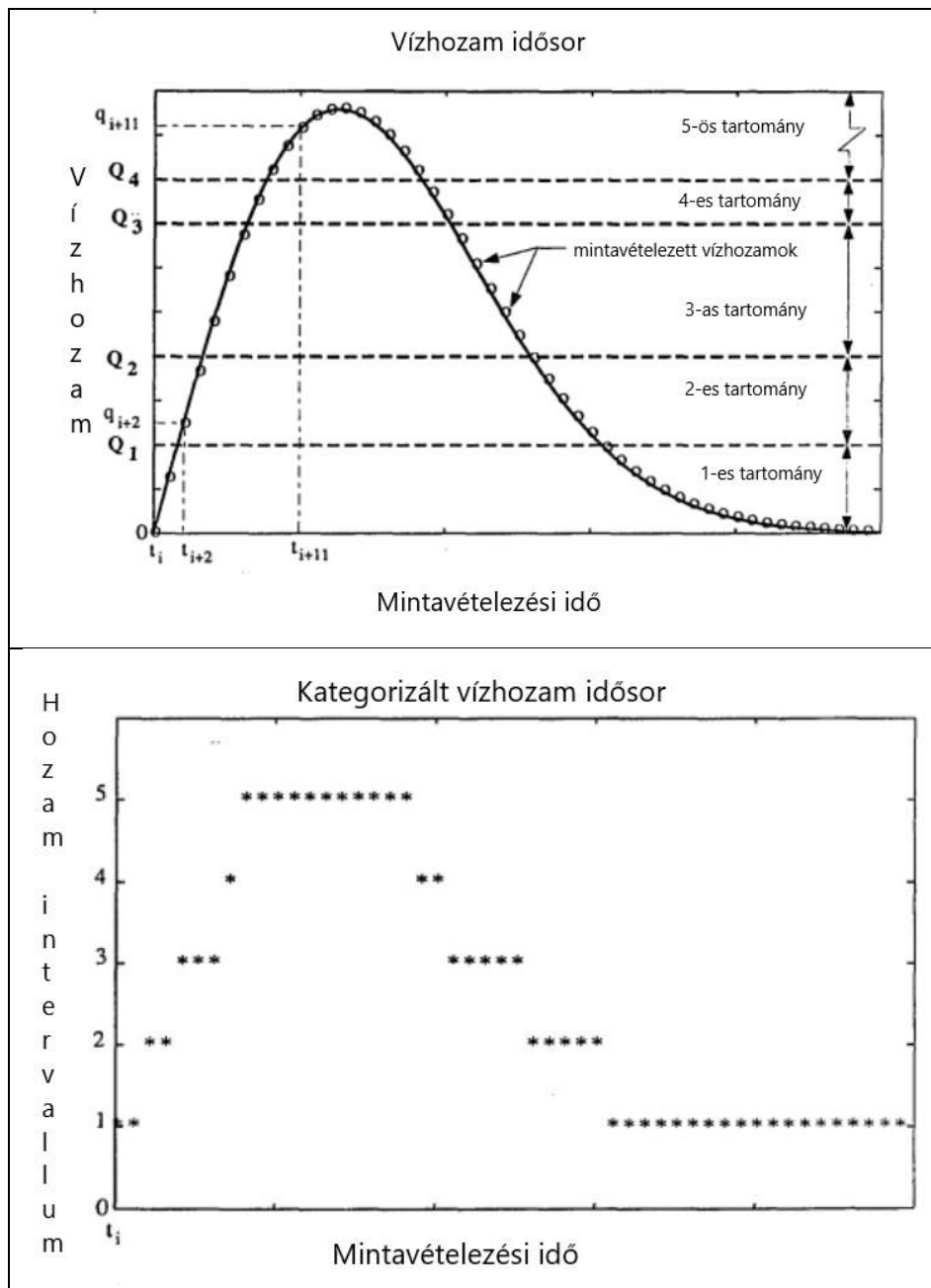
2. ábra. A Baranya-csatorna vízgyűjtő területe (DDVIZIG 2019)
Figure 2. Catchment area of the Baranya Canal (DDVIZIG 2019)

A villámárvizek vizsgálatában a legfontosabb bemeneti paraméterek a csapadékatatok, bár finomabb modellezésekben peremfeltételként a talaj porozitását, előzetes nedveségtartalmát, a felszín hullámosságát, előzetes feltöltöttségét, a növényzet sűrűségét és telítettségét is figyelembe vesszük (Pirkhoffer és társai 2010). Számításainkhoz mi csak a csapadék adatokat vesszük figyelembe. A lehulló csapadék hatással van a vízhozamra, így annak a valószínűségét fogjuk kiszámítani, hogy adott csapadék-vízhozam adatsor alapján a jövőben milyen kategóriába esik a lehetséges vízhozam a villámárvíz veszéllyel összefüggésben. Számításaink is megerősítik például azt, hogy nagyszerű döntés volt a Magyarorszáki tározó megépítése, melynek vízkárenyhítés szempontjából jelentős szerepe van. (Az új tározó a Baranya-csatorna felső szakaszáról, valamint a Kaszárnya-patakra érkező árvizek visszatartását biztosítja.)

SZTOCHASZTIKUS FOLYAMATOK – AZ ADATOK KATEGORIZÁLÁSA

Tekintsünk egy X valószínűségi változót. Tegyük fel, hogy az X kimeneteleit az X_1, X_2, \dots sorozat adja meg, ahol az alsó index az időt jelöli. Az ilyen sorozatot *sztochasztikus idősort* nevezzük. Az $\{X_t\}$ változók egy valószínűségi eloszlással rendelkező halmazát *sztochasztikus folyamat*-nak nevezzük.

Esetünkben adott egy vízhozam idősor és adott számú vízhozam tartomány. Ezekhez a tartományokhoz egy pozitív egész számot rendelünk. Az idősor minden egyes eleme így azzal a számmal felírható, amely tartományba a vízhozam adat belesik (a tartományok között nyilván nem lehetnek átfedések). Így a vízhozam tartományok szerinti osztályozás eredménye egy másik idősor lesz. Ilyen osztályozást mutatunk példaként szemléletesen a 3. ábrán.



3. ábra. Kategorizálási eljárás vízhozam idősorra
 Figure 3. Tagging mechanism of the streamflow time series

A kategorizálási eljárás matematikailag felírva a következő:

$$X_t = \begin{cases} 1, & \text{ha } 0 \leq x_t \leq Q_1 \\ i, & \text{ha } Q_{i-1} < x_t \leq Q_i, \quad i = 2, 3, \dots, N-1 \\ N, & \text{ha } x_t > Q_{N-1}, \end{cases}$$

ahol az X_t változó a hozam intervallumot jelzi és $0 \leq Q_1 < Q_2 < \dots < Q_{N-1} < Q_N$ a vízhozam értékek a kategóriák határain. Az X_t idősor az $X = \{1, 2, \dots, N\}$ véges halmazból vesz fel értékeket.

A csapadék adatokat is hasonló módszerrel kategorizálhatjuk. A kategorizálás során természetes kérdésként adódik, hogy miként válasszuk meg a kategóriák számát

(N) és a kategóriák határait. Erre a legjobb módszer a *K-közép algoritmus* (Hartigan 1975), mely a nem hierarchikus klaszterelemzési módszerek közül a legnépszerűbb. Ez az algoritmus az adatsor minden egyes elemét ahhoz a klaszterhez (kategóriához) sorolja, amelyiknek a középontja a legközelebb esik az adott elemhez. A K-közép algoritmus tehát a legjobb particionálást keresi adott K számú klaszterhez az

$$E[P(n, K)] = \sum_{i=1}^n [x(i) - B[L(i)]]^2$$

kritérium alapján, ahol n az összes adat száma, melyet K darab klaszterbe csoportosítunk. Az $x(i)$ jelöli az i . adat értékét, $L(i)$ jelöli azt a klasztert, amelyhez az i . adat tartozik, míg $B[L(i)]$ az $L(i)$ klaszter értékeinek számtani közepe. Így a felírt kritérium az n darab adat K számú klaszterbe sorolásának teljes négyzetes hibáját adja meg. A kritérium alapján az a partíció a legjobb, amely minimalizálja a teljes négyzetes hibát.

A kategóriákat szubjektív módon is megalkothatjuk, de vigyázni kell, hogy minden kategóriába elegendő számú adat essen, különben hibás és félrevezető számítások adódhatnak.

$$P\{a < X_t \leq b | X_{t_1} = x_1, X_{t_2} = x_2, \dots, X_{t_n} = x_n\} = P\{a < X_t \leq b | X_{t_n} = x_n\} \quad (1)$$

minden $t_1 < t_2 < \dots < t_n < t$ esetén. *Markov-láncnak* nevezzük a véges vagy megszámlálható (más szóval diszkrét)

$$P\{X_t = i | X_1 = i_1, X_2 = i_2, \dots, X_{t-1} = i_{t-1}\} = P\{X_t = i | X_{t-1} = i_{t-1}\}. \quad (2)$$

Azt mondjuk, hogy a folyamat a t időpontban az i állapotban van, ha $X_t = i$. A (2) egyenlet jobb oldalát egy lépéses átmenet-valószínűségnek nevezzük és P_{ij} -vel jelöljük. Megjegyezzük, hogy itt *homogén Markov-láncot* tételezünk fel, azaz az egy lépéses átmenet-valószínűségek függetlenek az időtől.

A P_{ij} számok mátrix formájában is elrendezhetők (Feller 1951). A $\mathbf{P} = (P_{ij})$ mátrixot a folyamat *átmenet-valószínűség mátrixának* nevezzük. A \mathbf{P} minden egyes P_{ij} eleme annak a valószínűségét jelenti, hogy az állapotok értéke az i -ből j -be megy át egy lépésben. Egy lépés egy időegységnek tekinthető. A P_{ij} mennyiségek nemnegatív számok, sorösszegük egységnyi, mert valamely esemény soronként biztosan bekövetkezik. A főátlóban szereplő értékek a helyben maradás valószínűségét adják meg és a mátrix egy sora eloszlást fejez ki.

A Markov-láncokkal kapcsolatban célunk mindig a hosszútávú viselkedésük vizsgálata. Ez tulajdonképpen a

$$P\{X_t = i | X_1 = i_1, X_2 = i_2, \dots, X_{t-1} = i_{t-1}, Y_1 = j_1, \dots, Y_{t-1} = j_{t-1}\} = P\{X_t = i | X_{t-1} = i_{t-1}, Y_{t-T} = j_{t-T}\}$$

egyenletet. A T a késleltetési időegységet jelöli a vízhozam és a csapadék adatok között. A lehulló csapadék mennyisége bizonyos idő eltelte után érzéti hatását a vízhozam adatsoron. A késleltetési idő kiszámítására statisztikai képlet is rendelkezésre áll a csapadék és vízhozam adatsor alapján (Yapo 1993):

$$T = \min \left\{ i: \frac{\text{Cov}(x_t, y_{t-i})}{\sigma_x \sigma_y} \geq \frac{u_{1-p}}{\sqrt{n}} \right\}. \quad (3)$$

A fenti egyenlet tehát megadja azt a minimális pozitív késleltetést, amelynél a csapadék és a vízhozam értékek közötti keresztkorreláció szignifikáns $100(1-p)\%$ szinten. Az u_{1-p} értéke a standard normális eloszlás táblázatából visszakereshető a $\Phi^{-1} \left(1 - \frac{p}{2} \right)$ alapján. A (3) formulában σ_x és σ_y a két adatsor szórását, n az adatok számát jelöli.

MARKOV-LÁNCOK A HIDROLÓGIÁBAN

Az 1960-as évektől több külföldi kutató is modellezte Markov-láncokkal a különböző időszakok csapadékos és csapadékmentes napjainak egymás után következő folyamatát (Gabriel és Neumann 1962, Haan és társai 1976,

A KÉTVÁLTOZÓS MARKOV-LÁNC

Mindenekelőtt röviden összefoglaljuk a Markov-láncokkal kapcsolatos alapvető fogalmakat.

A *Markov-folyamat* olyan sztochasztikus folyamat, melyet az a tulajdonság jellemez, hogy a folyamat jövőbeli viselkedése alakulásának valószínűsége, ha a pillanatnyi állapot teljesen ismert, nem változik azáltal, hogy többet tudunk meg a múltbeli viselkedéséről (Karlin-Taylor 1985). Matematikai formában felírva Markov-folyamatot adunk meg, ha

rét) állapotterű Markov-folyamatokat. Az (1) alapján felírható tehát a diszkrét-idejű Markov-lánc definíciója:

\mathbf{P}^n vizsgálatát jelenti nagy n -ek esetén. Az egy lépéses átmenet-valószínűségi mátrixot addig hatványozzuk, amíg az oszlopainak elemei állandósulnak, azaz

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mathbf{P}^n = \begin{bmatrix} P_0 & P_1 \dots & P_n \\ P_0 & P_1 \dots & P_n \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ P_0 & P_1 \dots & P_n \end{bmatrix} = \mathbf{P}^*.$$

A \mathbf{P}^* mátrixot *határmátrixnak* nevezzük, a P_0, P_1, \dots, P_n valószínűségek azt fejezik ki, hogy mekkora valószínűséggel találjuk a rendszert hosszú állapotváltozások sorozata után az egyes $0, 1, \dots, n$ állapotokban (Kontur és társai 1993). A (P_0, P_1, \dots, P_n) eloszlást *invariáns (egyensúlyi) eloszlásnak* nevezzük.

Ha a Markov-láncban két idősor adatait (esetünkben a vízhozam $\{X_t\}$ és a csapadék $\{Y_t\}$) is figyelembe vesszük, akkor a $\mathbf{Z}_t = (X_t, X_{t-1}, Y_{t-T})$ állapot változókkal egy *kétváltozós láncot* kapunk, melyre a Markov-tulajdonság alapján felírhatjuk a

Chin 1977). Az átmenet-valószínűségi mátrix segítségével következtetéseket vontak le arról, hogy ez a fizikai rendszer milyen valószínűséggel található csapadékos, illetve csapadékmentes állapotban. Az utóbbi években különböző területek éves csapadékösszegeit is vizsgálták Markov-láncokkal, amely témából több publikáció is született (Selvi és Selvaraj 2011, Yusuf és társai 2014, Fekete és Keve 2020).

Igen elterjedt a Markov-láncok használata tározók méretének számításához. A méretezési eljárás során különböző tározóméret és vízkivétel esetén azt számítják, hogy az ismertnek tekintett eloszlású hozzáfolyás alapján mekkora valószínűséggel kerül a tározó különféle telítettségi állapotokba és mekkora lesz a kiürülés valószínűsége (Kontur és társai 1993).

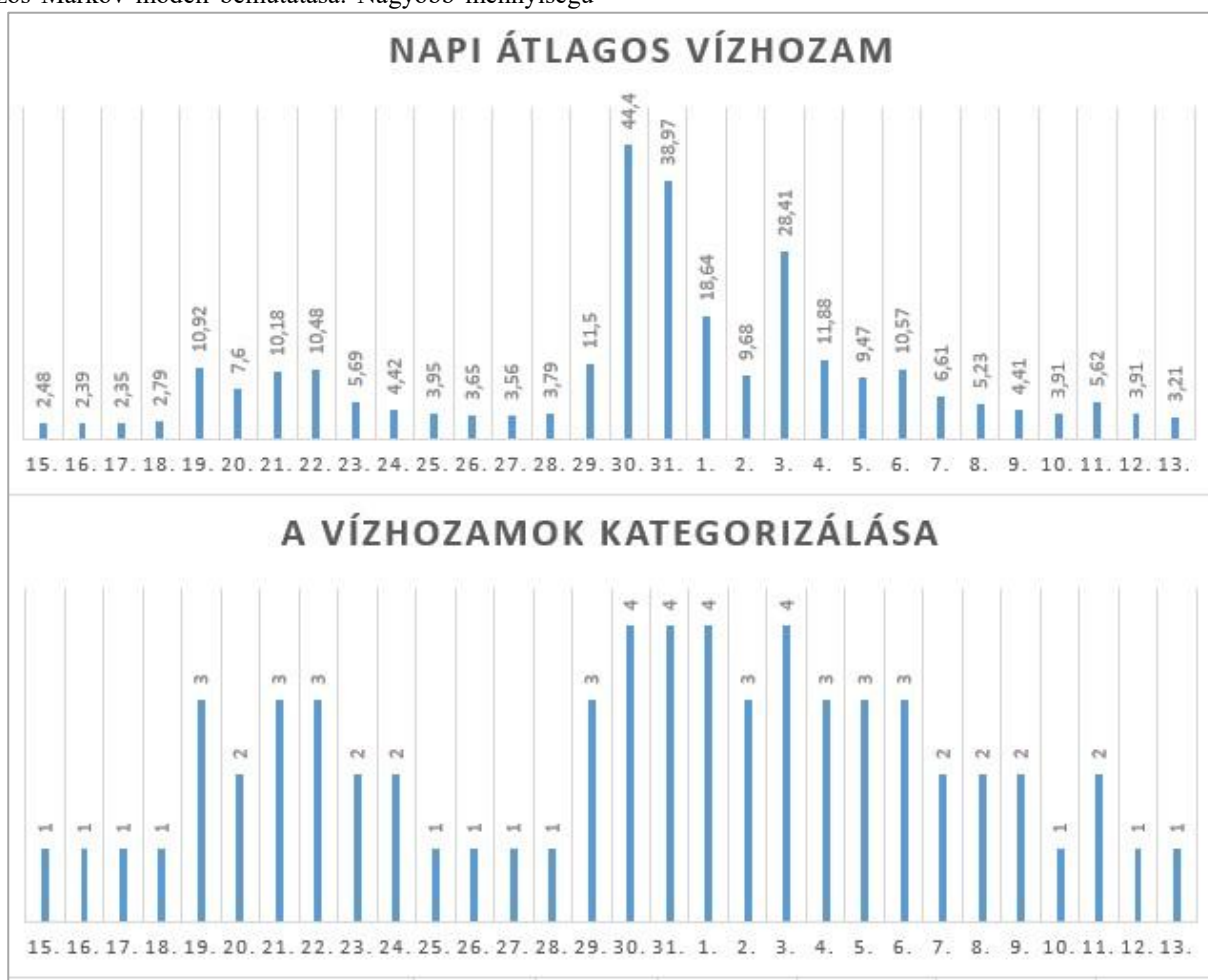
A Markov-láncokat már korábban is alkalmazták vízhozamok rövid, közép és hosszú távú előrejelzésére (Jackson 1974, Yakowitz 1985), valamint cikkünk témája is ehhez kapcsolódik.

ADATSOROK A SZÁMÍTÁSOKHOZ

A Baranya-csatorna 3+200 km szelvényben található a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (DDVIZIG) csikóstöttösi vízrajzi mérőállomása. A DDVIZIG-től kaptuk a vízhozam adatokat. Az állomás 1935 óta méri a víz-állás-vízhozam adatokat, a csatornán máshol nincs vízrajzi állomás. A csapadék adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat pécsi állomásáról vettük. (A pontosabb eredményekhez célszerűbb lenne a vízgyűjtőn elhelyezkedő csapadékmérő adatait felhasználni, de a számításokhoz csak a viszonylag közeli pécsi állomás adatai álltak rendelkezésre.) Vizsgálatunkhoz két olyan időszakot (2013.03.15.-04.13. és 2018.03.01.-04.01.) választottunk, amelyben változatos csapadék és ennek következtében vízhozam adatok szerepelnek. (Szeretnénk hangsúlyozni, hogy a jövőre vonatkozó sokkal pontosabb vízhozam előre jelzéshez érdemesebb lenne több év márciusától novemberéig elvégezni a számításokat, de itt most az elsődleges célunk a kétváltozós Markov modell bemutatása. Nagyobb mennyiségű

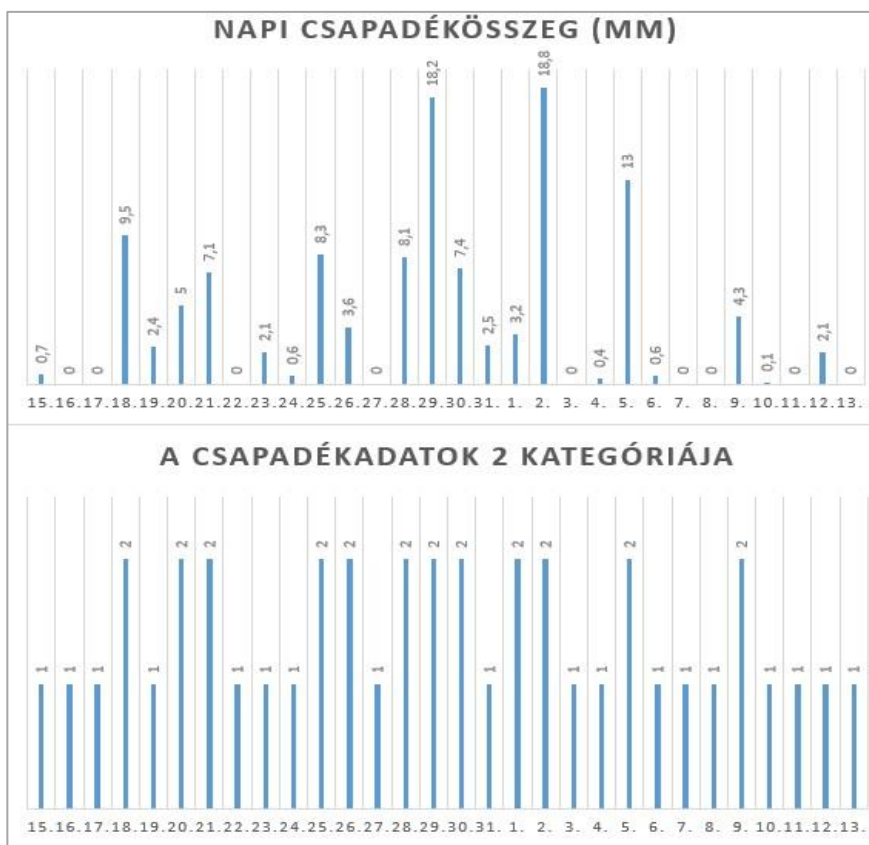
adat esetén a számítási módszer leprogramozható.) Általánosságban elmondható, hogy éghajlatunk ingadozásához köthetően a hirtelen árvizeket egyre inkább az jellemzi, hogy nem igazán évszaktól függők. Tavasz elejétől az őszt végéig bármikor bekövetkezhetnek és nincsenek biztosan előre jelezhető területek, ahol megtörténhetnek. Egyre többször jelennek meg hirtelen árvizek a tél végi-tavaszi eleji heves esőzésekkel együtt meginduló hóolvadás következtében (Pirkhoffer és társai 2009). Pontosan ilyen események játszódtak le 2013. március 30-án és 2018. március 18-án Csikóstöttősnél is, ezért is esett a választásunk az említett két időszakra.

A 2013.03.15.-04.13. napi átlagos vízhozam adatsort (m^3/s) négy kategóriára osztottuk és a K-közép algoritmusmal kijelöltük a kategóriák határait: $[0,4)$: 1; $[4,8)$: 2; $[8, 12)$: 3; $[12, \infty)$: 4. Az adatsort és kategorizálását mutatja a 4. ábra.



4. ábra. A Baranya-csatorna csikóstöttösi szelvényének napi átlagos vízhozamai [m^3/s] és kategorizálása, 2013. 03. 15.-04. 13. (DDVIZIG 2020)

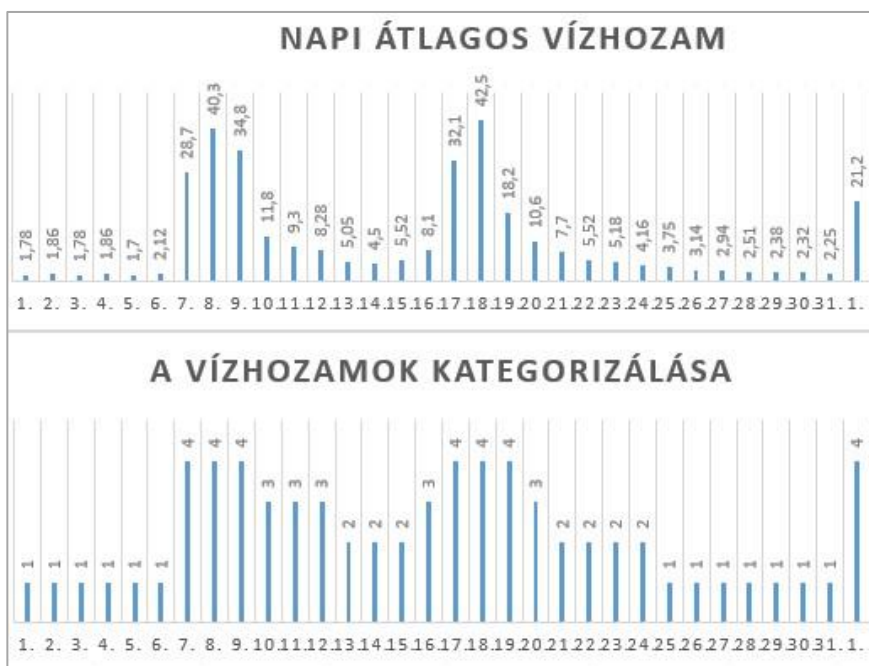
Figure 4. The average daily runoff of the Baranya Canal at Csikóstöttös [m^3/s] and its categorization, 03. 15.-04. 13. 2013. (DDVIZIG 2020)



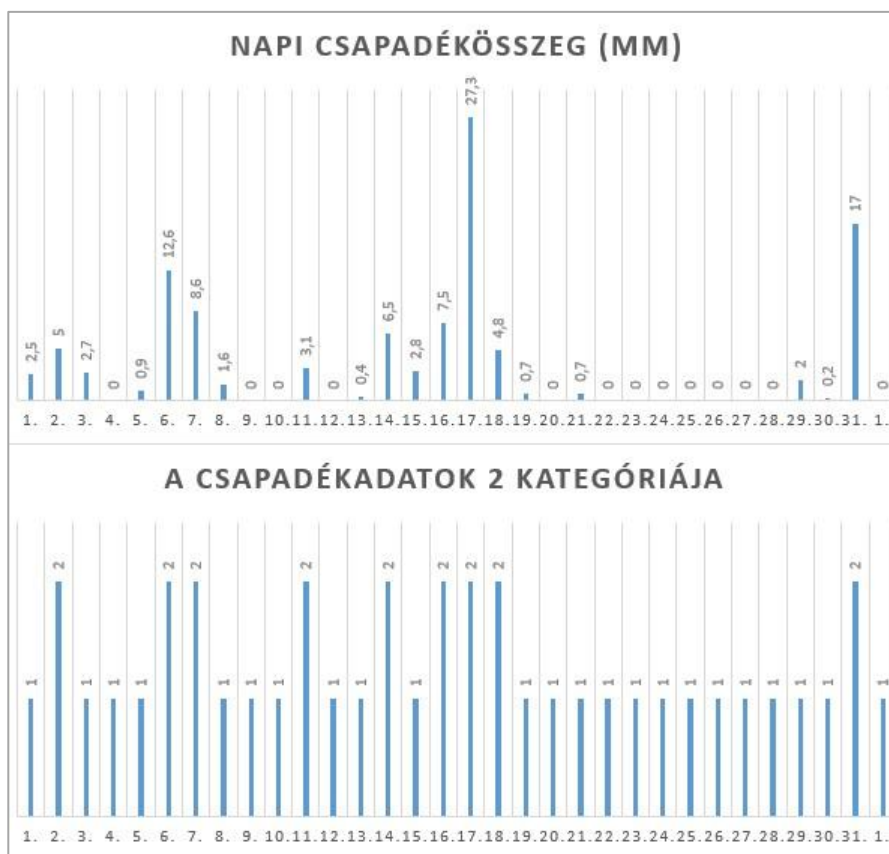
5. ábra. A napi csapadékösszegek alakulása Pécsen és kategorizálásuk, 2013. 03. 15.-04. 13. (OMSZ adatbázis 2021)
Figure 5. Daily precipitation sums at Pécs and its categorization, 03.15.-04.13. 2013. (OMSZ database 2021)

A csapadék adatokat a rövid adatsor (30 nap) miatt csak két kategóriába osztottuk, az 1-es kategória a napi 3 mm csapadék alatti (száraz), míg a 2-es kategória a 3 mm csapadék feletti (nedves) napot jelöli. Ezt mutatja az 5. ábra. A csapadék és vízhozam adatokat összeha-

sonlítva azonnal látható, hogy $T=1$, azaz kb. 1 nap a késleltetési idő. Ezt az eredményt a (3) formulával való számítás is alátámasztja. Hasonló eljárást végeztünk a 2018.03.01.-04.01. adatsorokkal is. Ezt mutatja a 6. és a 7. ábra.



6. ábra. A Baranya-csatorna csikóstöttösi szelvényének napi átlagos vízhozamai [m^3/s] és kategorizálása, 2018. 03. 01.-04. 01. (DDVIZIG 2020)
Figure 6. The average daily runoff of the Baranya Canal at Csikóstöttös [m^3/s] and its categorization, 03.01.-04.01. 2018. (DDVIZIG 2020)



7. ábra. A napi csapadékösszegek alakulása Pécsen és kategorizálásuk, 2018. 03. 01.-04. 01. (OMSZ adatbázis 2021)
 Figure 7. Daily precipitation sums at Pécs and its categorization, 03. 01.-04. 01. 2018 (OMSZ database 2021)

SZÁMÍTÁSOK A KÉTVALTOZÓS MARKOV-LÁNCCAL

Először a 2013-as évre végezzük a számításokat. A 4. és az 5. ábra kategorizálását figyelembe véve kiszámítjuk a $P\{X_t = j|X_{t-1} = i, Y_{t-1} = \text{száraz}\}$ és a $P\{X_t = j|X_{t-1} = i, Y_{t-1} = \text{nedves}\}$ átmenet- valószínűségeket,

$$P(\text{száraz}) = \begin{pmatrix} 5 & 1 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 0 & 0 \\ 2 & 3 & 0 & 0 \\ 5 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 4 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 2 \end{pmatrix} \text{ és } P(\text{nedves}) = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 2 & 0 \\ 4 & 0 & 4 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$$

A számlálók az átmenet-gyakoróságokat mutatják, míg a nevezőkben az adott sor átmenet-gyakoróság összegei szerepelnek. Az érthetőség érdekében példaként értelmezzük a mátrixok első sorának elemeit. P(száraz) esetén a csapadék 1-es kategóriáját vesszük feltételként és össze-számláljuk, hogy a vízhozam ekkor hány alkalommal megy át 1-esből az 1-es kategóriába, ez a szám 5. Az 1-esből a 2-es kategóriába egy alkalommal, míg 1-esből a 3-asba 0 és 1-esből a 4-esbe szintén 0 alkalommal megy át. P(nedves) esetén a csapadék 2-es kategóriáját vesszük fel-tételként és összeszámláljuk, hogy a vízhozam ekkor hány alkalommal megy át 1-esből az 1-es kategóriába, ez a szám 2. Az 1-esből a 2-es kategóriába 0 alkalommal, míg 1-esből a 3-asba 2 és 1-esből a 4-esbe 0 alkalommal megy át. A mátrixok többi elemét hasonló számítások után kapjuk.

Összehasonlítva a két mátrixot alapvető törvényszerű-ségeket vonhatunk le belőlük. A P(száraz) esetén a főátló

ahol $i, j=1, 2, 3, 4$. A száraz a napi 3 mm-nél kevesebb, a nedves a napi 3 mm-nél több csapadékot jelenti. (A korábbi jelölések alapján 1-essel és 2-essel is lehet ezeket nevezni.) Két 4x4-es átmenet- valószínűségi mátrixot kapunk, egyet a száraz és egyet a nedves fel-tétel esetén:

feletti elemek egy kivételével, míg a P(nedves) esetén a főátló alatti elemek szintén egy kivételével zérusok. Nyíl-ván száraz nap után nem ugrik kategóriákat felfelé, míg nedves nap után nem ugrik kategóriákat lefelé a vízhozam.

A fenti mátrixok hosszú távú viselkedését vizsgálva a korábban ismertetett módon kiszámítjuk az invariáns el-oszlásukat. A számításokhoz az EXCEL-t használtuk és a 16. hatványnál már megkaptuk az invariáns eloszlást, azaz

$$P^*(\text{száraz}) = (0,7; 0,3; 0; 0) \text{ és } P^*(\text{nedves}) = (0; 0; 0,5; 0,5).$$

A P(száraz) esetén tehát hosszú távon 0,7 a valószínűsége, hogy a vízhozam az 1-es, 0,3 a valószínűsége, hogy a 2-es és 0 a valószínűsége, hogy a 3-as és a 4-es kategóriába es-sen. Nyilván villámárvizek szempontjából nekünk a P(ned-ves) mátrix hosszútávú viselkedése érdekes, ami azt mu-tatja, hogy a vízhozamok azonos 0,5 valószínűséggel esnek a 3-as és a 4-es kategóriába. Megállapítható, hogy a rendszer

a 4-es vízhozam kategóriába nem csekély valószínűséggel kerül, azaz a villámárvíz kockázatának lehetősége fennáll.

$$P(\text{száraz}) = \begin{pmatrix} \frac{10}{10} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{5} & \frac{4}{5} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2}{3} & \frac{1}{3} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2}{3} & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \text{ és } P(\text{nedves}) = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & 0 & 0 & \frac{2}{3} \\ 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{3}{3} \end{pmatrix}.$$

Az invariáns eloszlásukat kiszámítva $P^*(\text{száraz}) = (1; 0; 0; 0)$ és $P^*(\text{nedves}) = (0; 0; 0; 1)$ adódik. A március 1-től április 1-ig terjedő csapadék és vízhozam adatok alapján igen szélsőséges eredményt kaptunk hosszabb távra. Nedves feltétel esetén a 4-es vízhozam kategória kizárólagos lesz.

$$P_{2013} = \begin{pmatrix} \frac{7}{10} & \frac{1}{10} & \frac{2}{10} & 0 \\ \frac{3}{7} & \frac{3}{7} & \frac{1}{7} & 0 \\ 0 & \frac{3}{8} & \frac{3}{8} & \frac{2}{8} \\ 0 & 0 & \frac{2}{4} & \frac{2}{4} \end{pmatrix} \text{ és } P_{2018} = \begin{pmatrix} \frac{11}{13} & 0 & 0 & \frac{2}{13} \\ \frac{1}{7} & \frac{5}{7} & \frac{1}{7} & 0 \\ 0 & \frac{2}{5} & \frac{2}{5} & \frac{1}{5} \\ 0 & 0 & \frac{2}{6} & \frac{4}{6} \end{pmatrix} \text{ lenne.}$$

Az invariáns eloszlásuk: $P_{2013}^* = (0,347; 0,241; 0,275; 0,137)$ és $P_{2018}^* = (0,255; 0,294; 0,202; 0,247)$. Önmagában ez a vizsgálódás általánosságban inkább azt mutatja meg, hogy az adott terület éghajlata adott folyó esetén mekkora vízhozam értékeket eredményez kategóriáiként. Mivel a villámárvizek keletkezésében a csapadék játssza a döntő szerepet, ezért indokolt inkább a $P(\text{nedves})$ átmenet-valószínűségi mátrixot és invariáns eloszlását számolni egy adott vízfolyás esetében. A két számítás megerősítette, hogy dombvidéki folyó esetén nedves peremfeltétel mellett igen nagy a valószínűsége, hogy a vízhozam magas értéket érjen el, ezáltal megnőjön a villámárvíz kockázata.

ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

Magyar nyelvű szakirodalomban még nem szerepelt adott folyó árvíz (vagy villámárvíz) kockázatának elemzése kétváltozós Markov-láncokkal. Kutatásunkban egy magyarországi esettanulmány (Baranya-csatorna) kapcsán alkalmaztuk e módszert. Választásunk egyrészt azért esett erre a vízfolyásra, mert a vízgyűjtő területén az egyre inkább szélsőségesebbé váló időjárás következményeként gyakran fordult elő (legutóbb 2005, 2010, 2013, 2015, 2018 években) rövid ideig tartó, heves eső. Ezek a szélsőséges meteorológiai események villámárvizet okoztak. Az előre nehezen megjósolható, gyors lefolyású árvizek jelentős helyi vízkárokat okoztak a vízgyűjtő lakott, illetve mezőgazdasági művelésű területein egyaránt. Másrészt erre a vízfolyásra álltak rendelkezésre egyidejűleg a csapadék és a vízhozam adatok.

Először a vízhozam és csapadék adatokat kategorizálni kellett, melyben a K-közép algoritmust is célszerű alkalmazni. Hangsúlyozzuk, hogy viszonylag rövid (30, illetve 31 napos) adatsort vettünk alapul, hogy számításaink számítógép használata nélkül is be tudjuk mutatni, elsődleges célunk a módszer demonstrálása volt. Több évre vonatkozó hosszabb adatsorokkal pontosabb képet kaphatunk egy adott folyó vízhozam előrejelzésére a csapadék ismeretében.

Most nézzük meg a 2018-as adataink alapján a kiszámított átmenet-valószínűségi mátrixokat:

Természetesen a vízhozamok vizsgálatát egy folyó esetében végezhetjük a száraz és nedves peremfeltételek elhagyásával is, ekkor egy adatsor alapján arra következtethetünk, hogy hosszú távon milyen kategóriákba fog esni a vízhozam. Minél hosszabb az adatsor annál pontosabb lesz a következtetés. Esetünkben ez a két mátrix

A Markov-láncok alapvető fogalmainak ismeretében, illetve a kétváltozós Markov-lánc felhasználásával kiszámítottuk a választott két időszak csapadék és vízhozam adataira (már kategorizált) támaszkodva az átmenet-valószínűségi mátrixokat száraz és nedves peremfeltételek esetén. Vizsgálatainkban a nedves peremfeltétel volt érdekes, ez az alapja egy megnövekedett vízhozamnak, illetőleg villámárvíznek. A számításainkból kiderült, hogy a Baranya-csatorna esetében nedves feltétel mellett hosszú távra igen nagy annak a valószínűsége, hogy a vízhozam a legfelső kategóriába kerüljön, azaz akár villámárvíz kockázat kialakuljon. Erre a kockázatra korábban más szakemberek (Balatonyi 2016) is felhívták a figyelmet, ezért egy 1,9 milliárd forintos beruházás keretében 2019-re elkészült a Baranya-csatornára tervezett 28 hektáros, 1 280 000 m³ térfogatú záportározó. A létesítmény megépítésének célja elsősorban a tavaszi árvízveszély csökkentése volt a víz visszatartásával, illetve az érkező vízhozam csökkentésével. Ez a tározó négyezer embert védhet meg a jövőben a felhőszakadások idején.

Az ismertetett módszerünknek vannak korlátai. A villámárvizek gyakran pár óra alatt képesek pusztítást végezni. Mivel a nagyon nagy vízhozamok viszonylag rövid ideig tartanak (max. pár óra), a napi átlagban ez nem biztos, hogy megfelelően jelenik meg. Tehát célszerűbb volna a vizsgálatokat elvégezni a napi bontáson felül szűkebb bontásban is. Ez azonban a megnövekedett adatmennyiség miatt már kézi számítást nem tesz lehetővé, a bemutatott módszert programozni kell és számítógéppel kiszámolni az átmenet-valószínűségeket. (Másrészt részletes vízhozam és csapadék adatsornak kell egyidejűleg rendelkezésre állni.)

A bemutatott sztochasztikus módszerrel további kutatásokban más dombvidéki vízfolyásokra is érdemes lenne meghatározni a villámárvíz kockázatot, ha rendelkezésre állnak az adott területre vonatkozó csapadék és vízhozam adatok.

Nagyobb síkvidéki folyók esetén ez a modell az árvíz prognózisában már problémás, bonyolultabb, magasabb rendű Markov-lánccokat kell alkalmazni (Yapo 1993), de érdemes lenne ezt is egyszer magyar nyelvű szakirodalomban megismertetni.

IRODALOMJEGYZÉK

Balatonyi L. (2016). Villámárvíz, mint potenciális természeti veszélyforrás: Monitoring alapú kisvízgyűjtő optimalizálás a hegy- és dombvidéki árvizek pontosabb előrejelezhetőségéért. Budapest, Magyarország. GlobeEdit ISBN: 9783330806573.

Bartholy J., Pongrácz R. (2005). Tendencies of extreme climate indices based on daily precipitation in the Carpathian Basin for the 20th century. *Időjárás*, 109, 1-20.

Chin, E.H. (1977). Modelling daily precipitation occurrence process with Markov chain. *Water Resources Research*, 13 (6), 949-956.

Czigány Sz., Pirkhoffer E., Lóczy D., Balatonyi L. (2013). Flash flood analysis for Southwest-Hungary. *Springer Geography*, pp. 67-82., ISBN: 978-94-007-6300-5.

DDVIZIG (2019). A Baranya-csatorna vízgyűjtő területe, <http://ddvir.ddvizig.hu> (Letöltés dátuma: 2021.10.10.)

DDVIZIG (2020). Adatszolgáltatás, Csikóstöttösi vízrajzi mérőállomás.

Dövényi Z. (szerk.) (2010): *Magyarország kistájainak katasztere. Második, átdolgozott és bővített kiadás (az első kiadást szerkesztette: Marosi Sándor és Somogyi Sándor)*, Budapest. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet.

Fekete Á., Keve G. (2020). A csapadékösszegek és az aszályos időszakok vizsgálata Markov-lánccal. *Hidrologiai Közlöny* 100. évf. 4. szám, 60-70.

Feller W. (1951). The Problem of n Liars and Markov Chains. *The American Mathematical Monthly*, Vol. 58, No. 9, pp. 606-608

Gabriel, K.R., Neumann J. (1962). A Markov Chain Model for Daily Rainfall Occurrence at Tel Aviv. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 88, 90-95.

Haan, C.T., Allen D.M., Street J.O. (1976). A Markov chain model for daily rainfall. *Water Resources Research*, 12 (3), 443-449.

Hartigan, J.A. (1975). *Clustering Algorithms*. Wiley, New York, pp. 84-112.

Hegedüs, P., Czigány, Sz., Balatonyi, L., Pirkhoffer, E. (2013). Analysis of Soil Boundary Conditions of Flash Floods in a Small Basin in SW Hungary. *Central European Journal Of Geosciences*, 5:(1) pp. 97-111.

Jackson, B. (1974). The use of streamflow models in planning. *Water Resources Research*, 11 (1), pp. 54-63.

Karlin, S., Taylor, H. (1985). *Sztochasztikus folyamatok*. Gondolat Kiadó, Budapest.

Kontur I., Koris K., Winter J. (1993). *Hidrologiai számítások*. Budapest, Akadémiai Kiadó

OMSZ adatbázis (2021). Napi csapadékösszegek, Pécs Pirkhoffer, E., Czigány, S., Geresdi, I. (2009). Impact of rainfall pattern on the occurrence of flash floods in Hungary. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 53, pp 139-157.

Pirkhoffer E., Czigány Sz., Geresdi I. (2010). Villámárvizek modellezhetősége Magyarországon. in: Lóki J. & Demeter G. (szerk.): *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában*. RexPo Kft., Debrecen, pp. 131-143. ISBN: 978-963-069341-7.

Selvi, S.T., Selvaraj, R.S. (2011). Stochastic Modelling of Annual Rainfall at Tamil Nadu. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, Volume 1, Issue 4: pp. 566-570.

Szabó J., Schweitzer F., Horváth G. szerk. (2018). Természeti veszélyek. In: Kocsis K. (főszerk.): *Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet*. Budapest, MTA CSFK Földrajztudományi Intézet. pp. 165.

Yakowitz, S. J. (1985). Markov flow models and the flood warning problem. *Water Resources Research*, 21 (5).

Yapo, P. (1993). A Markov chain flow model for forecasting. *Water Resources Research*, 29 (7): 2427-2436.

Yusuf, A.U., Adamu, L., Abdullahi, M. (2014). Markov chain model and its application to annual rainfall distribution for crop production. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 3(2): 39-43.

A SZERZŐ



FEKETE ÁRPÁD matematika-földrajz szakos tanár (Szegedi Tudományegyetem, 2000), 2006-ban szerzett PhD fokozatot a Szegedi Tudományegyetemen matematika- és számítástudományból. 2003 óta a felsőoktatásban dolgozik, jelenleg a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Karán adjunktus, matematika tárgyakat oktat mérnök szakos hallgatóknak. Kutatási területe a matematikai analízis és a sztochasztikus folyamatok, valamint ezek alkalmazásai mérnöki-műszaki tudományokban.

Vörösiszap katasztrófa után 10 évvel – állapotváltozások a Marcalon

Kovács Krisztián*, Kettinger Dóra*, Lukács Balázs András**, Boda Pál**, Baranyai Olga***

* Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatal, Környezetvédelmi Mérőközpont, 9028 Győr, Török Ignác út 68.

(E-mail: kovacs.krisztian@gyor.gov.hu)

** Ökológiai Kutatóközpont, Vízi Ökológiai Intézet, Tisza-kutató Osztály, 4026 Debrecen, Bem tér 18/c.

*** Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 9700 Szombathely, Vörösmarty u. 2.

Kivonat

2010. október 4-én a MAL Zrt. ajkai timföldgyárának kolontári X. számú vörösiszap-tározóján átszakadt a gát. Összesen 800 000 - 1 000 000 m³ vörösiszap zúdult ki a zagyrtározóból előntve a Torna-patak völgyét, és okozott hatalmas ökológiai és humán katasztrófát. A szennyezés nagyságára jellemző, hogy a Torna-patakon és a Marcalon túl érintette a Rába, a Mosoni-Duna és a Duna folyókat is.

Tanulmányunkban felidézük a havária idején történt eseményeket, a hatósági laboratóriumi mérések és más kutatások eredményein keresztül bemutatjuk a Marcalt ért terhelés hatásait. Nyomon követjük a folyóban bekövetkezett ökológiai változásokat, összehasonlítjuk a katasztrófa előtti és a következő 10 év állapotainak alakulását. Az elemzés során a VKI-monitoringban vizsgált élőlénycsoportokra, valamint a minősítést támogató fizikai-kémiai paraméterekre fókuszálunk.

Az eredmények azt mutatják, hogy a szennyezés ökológiai szempontból rendkívül súlyos volt, de hamar megindult a folyó regenerálódása. A szennyezés következtében rövid távon a makroszkopikus vízi gerinctelenek és a halak szenvedtek el a legnagyobb károsodást, szinte kipusztultak, de a makrofita növényzet is sérült. Körülbelül 2-3 évig tartó fokozatos javulás után nyerte vissza az élővilág a katasztrófa előtti állapotát. A fizikai-kémiai jellemzőket illetően a havária idejében voltak kiugróan rossz értékek, ezt követően mérsékelt és jó állapotot mutatnak a mérések. A biológiai elemek is azt jelzik, hogy a folyó állapota a regenerálódást követően mérsékelt és jó között alakul, még védett fajok is előfordulnak, bár az idegenhonos fajok megjelenése, terjedése további figyelmet igényel. Az integrált értékelés szerint a Marcal állapota a VKI monitoring kezdete óta változatlanul mérsékelt, így a célként megfogalmazott jó állapot eléréséhez, hosszú távú fenntartásához további intézkedések szükségesek.

Kulcsszavak

Vízminőségi kárelhárítás, VKI monitoring, fizikai-kémiai minősítés, biológiai elemek (fitoplankton, fitobentosz, makrofita, makrozoobenton, halak), regenerálódás, állapotértékelés.

10 years after the red mud disaster – ecological status changes on the Marcal

Abstract

On the 4th of October 2010, the dam of the red mud reservoir of MAL Zrt. alumina factory broke through in Kolontár, Hungary. A total of 800 000 to 1 000 000 m³ of red mud spilled from the reservoir, flooding the nearby Torna Stream valley and causing a massive ecological and human catastrophe. In addition to the Torna Stream and Marcal River, the red mud also reached and affected the Rába, Mosoni-Danube and Danube Rivers.

In our study, we recall the events of the havaria, and investigate the effects of red mud on the Marcal River. We follow the compositional changes in the Marcal River and compare the ecological conditions before and after the disaster throughout the following 10 years. We focus on the groups of aquatic organisms examined in the WFD monitoring, as well as on the physico-chemical parameters supporting the classification of status. According to our results, the pollution caused considerable diversity loss, but the river quickly began to regenerate. Aquatic macroinvertebrates and fish were almost extinct, but macrophytic vegetation was also damaged. After about 2-3 years of gradual recovery, wildlife has returned to its pre-disaster state. In regards to the physico-chemical components, the values were remarkably bad at the time of the accident but as the process of regeneration took place results started showing moderate to good status. The biological quality elements also indicate that the river is in a moderate to good status, with even protected species present, although the presence of invasive species require further attention. According to the integrated assessment, the status of the Marcal has remained moderate since the start of the WFD monitoring, so further actions are needed in order to achieve and maintain good status.

Keywords

Remediation of water quality, WFD monitoring, physico-chemical assessment, biological quality elements (phytoplankton, phyto-benthos, macrophytes, macrozoobenthos, fish), regeneration, classification of status.

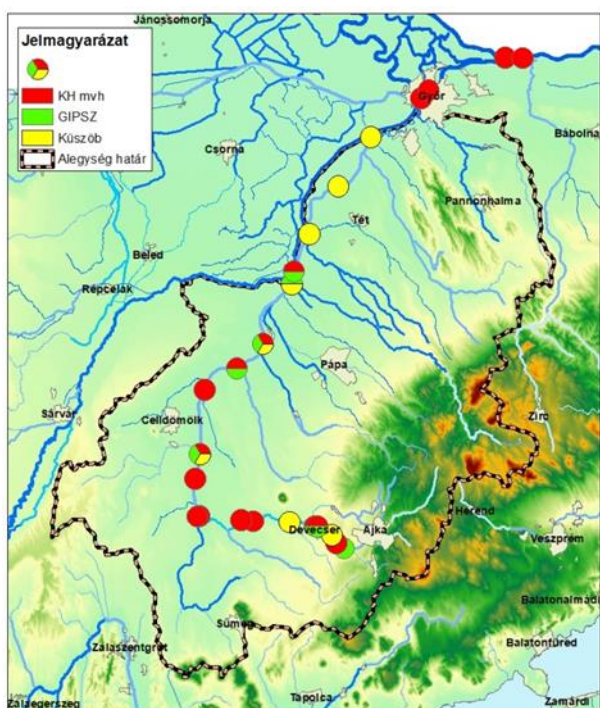
BEVEZETÉS

A vörösiszap az alumíniumiparban a timföldgyártás erősen lúgos, és jelentős vas-oxid tartalma miatt vörös színű mellékterméke. A 2010. október 4-én 12 óra 10 perckor átszakadó kolontári X. számú vörösiszap-tározóból kiömlő 800 000 - 1 000 000 m³ zagy előntötte a Torna-patak völgyét hatalmas ökológiai és humán katasztrófát okozva. A vörös árhullám a Torna-patak torkolatánál a gátszakadást követően 7 óra alatt elérte a Marcalt és az élővilágban jelentős károkat okozva gyorsan levonult a Marcal völgyében. A Rábán és a Mosoni-Dunán keresztül eljutott

a Dunáig is, Komárom térségébe körülbelül 96 óra elteltével érkezett meg (*Szlávik 2020*).

A katasztrófával érintett területek környezetvédelmi és vízügyi igazgatóságai még aznap III. fokú vízminőségvédelmi készültséget rendeltek el, előbb a Közép-dunántúli 14.00-tól, majd a Nyugat-dunántúli és Észak-dunántúli 16 órától. Ezzel egy időben az Országos Műszaki Irányító Törzs (OMIT) által elrendelt helyszíneken (*l. ábra*) és sűrűséggel megkezdődtek a vízminőségvédelmi mérések is, amelyek során folyamatosan rögzítették a víz hőmérsékletét, pH értékét és vezetőképessé-

gét, illetve a vízállást. A legmagasabb pH 12,61 volt, és bár a szennyező forrástól távolodva egyre kisebb mértékben, de még a Dunán is észleltek pH emelkedést. Komáromnál 8,59-es értéket mértek, összehasonlításképpen 2005-től 2010-ig áttekintve a pH 7,3 és 8,5 között mozgott, tehát a lúgos szennyezés idején az előző 5 évben mért maximumnál is magasabbra emelkedett. A Marcalon a szennyezés utánpótlásának elapadásával közel 2 hét után csökkentek le az értékek a sokéves átlag szintjére. A legmagasabb vezetőképesség a Marcalon 14 840 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt, szemben az általában jellemző 700 - 1 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -el. A vörösiszap fokozatos kiülepedését jelezve folyásirányban egyre inkább csökkenő tendencia mutatkozott, kiugróan magas értékek a Rábán, a Mosoni-Dunán és a Dunán már nem jelentkeztek. A vízállás alakulását a gátszakadást megelőző időszakban az határozta meg, hogy a vízgyűjtőn csapadékos időjárás volt, az ilyenkor megszokott mennyiség duplájánál is több esett. Ennek hatására kisebb árhullámok vonultak le, magasabb mederteltség, a szokásosnál nagyobb vízhozam volt jellemző a Marcalon. Október 4-én a tározóból lezúduló szennyezőanyag-hullám a Torna-patakon egy újabb árhullámhoz hozzáadódva érte el a folyót, ezáltal hirtelen 40 cm-es vízszintemelkedés történt a Marcalon (Szlávik 2020).



1. ábra. A Marcal vízgyűjtőjén a vörösiszap kárelhárítás keretében végzett vizsgálatok és beavatkozások (Szerkesztette: Baranyai)

(Megjegyzés: KH mvh: vízkémiai mintavétel, GIPSZ: gipszadagolás helyszíne, Küszöb: kőszórásos fenékküszöb)

Figure 1. Investigations and interventions in the Marcal River catchment area within the framework of the red mud remediation (Edited by Baranyai)

(Note: KH mvh: water chemistry sampling, GIPSZ: gypsum injection site, Küszöb: rockfall bottom sill)

A három érintett környezetvédelmi és vízügyi igazgatóság a károsodott vízfolyásokon kárelhárítási tevékenység során kármegelőző és operatív intézkedéseket végzett. Ezek keretében fenékküszöbök és mederduzzasztók kerültek kialakításra a vízáramlás lassítására, a lebegő-

anyagok kiülepedésére, továbbá gipsz adagolását kezdték meg több helyszínen (1. ábra) az erősen lúgos vörösiszap semlegesítésére, illetve azért, hogy a Rába és a Duna vízrendszerét óvják a káros anyagtól (Szlávik 2020).

A Nyugat-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (NYUDUKÖVIZIG) területén előbb október 5-én Szergénynél, közvetlenül a közúti hídról, majd Kemeneshőgyész, Nemeskocs és Marcaltó településeknél október 7-9. között elkészült ideiglenes kőszórásos mederduzzasztóról került adagolásra a gipsz, melyből 2010. 12. 14-ig összesen mintegy 317 tonna került felhasználásra. A vízminőségi kárelhárítás első szakaszában megtörtént a padkára kiülepedett iszap mennyiségi felmérése is. Ezt követően 2010. 12. 14-étől kezdve a vízminőségi kárelhárítás második szakaszában került sor a 30-40 cm vastagon kiterült vörösiszap eltávolítására. A munkálatok során a Marcal nagyvízi medréből, a 64+815 – 44+580 fkm szelvények között, 2011. 07. 17-éig 59 616 m^3 vörösiszap és vörös iszappal szennyezett föld került ki deponálásra a kijelölt ajkai lerakóban. A kármentesítés harmadik szakaszában (2011. 06. 22-től) a Marcal 43+000 – 71+110 fkm szelvényei között megvalósult a kisvízi mederkotrás a teljes szakaszon, valamint a Torna-patak torkolata és a bobai vasúti híd közötti szelvények padka- és rézsűkotrása. Ezen túlmenően elvégezték a befejező munkálatokat, vagyis a nádsávok kotrását, a fűvesítést, a fásítást, a halágyak kialakítását és a műtárgy helyreállításokat. A kotrásból származó szennyezett anyag mennyisége ebben az ütemben 137 362 m^3 volt, a parterősítéssel ellátott mederszakaszok hossza 2 300 m, a műtárgy helyreállításban 6 műtárgy és környezete újult meg. A kárelhárítás harmadik szakaszának munkálatait 2011. 11. 23-án fejezték be (Baranyai és társai 2021).

Munkánk célja elsősorban a Víz Keretirányelv (VKI) által előírt monitoring eredményein keresztül, illetve más kutatási eredmények, projektek adatai alapján bemutatni a katasztrófa és a helyreállítási munkák hatásait a Marcal élővilágára. Betekintést adtunk a regenerálódás folyamatába és meghatároztuk, hogy a folyó mikorra érte el újra a szennyezés előtti állapotát. Nyomon követtük, hogy az eltelt egy évtized alatt hogyan alakult a Marcal vízminősége és jelenleg milyen ökológiai állapottal jellemezhető a folyó.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A Marcal a Rába legjelentősebb, jobb parti mellékvízfolyása, vízgyűjtő területe 3 465 km^2 . A Keszthely-hegység északkeleti oldalán ered Sümegprága térségében és Győr-Gyirmótnál ömlik a Rábába, hossza megközelítően 95 km. A vízgyűjtő terület megoszlása a két partja vonatkozásában rendkívül aszimmetrikus, nemcsak terület nagyságában, hanem domborzati viszonyaiban is. Mintegy 5%-a középhegység, 25%-a dombvidéki, a többi, 70% síkvidéki jellegű, 200 m tengerszint alatti magassággal. Délkeleti része a Bakony-hegységhez tartozik, az ettől északra levő rész a Sokoróalj-dombvidék. A vízgyűjtő további dombvidéki területei a Somló, a Ság-hegy és a Sümegi-várhegy. A bal parton levő nyugati rész a Kemeneshát lejtőit foglalja magában. A Marcal alsó völgye a Kisalföld déli részéhez tartozik, annak hordalékkal feltöltött medencéje peremén helyezkedik el. A Marcal

medret viszonylag nagy völgyfenék-szélesség jellemzi, 1,5-3,5 km között változik, majd Kemeneshögyész mágasságában 8 km-re szélesedik (VGT2 2015).

A Marcal vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési alegység névadó vízfolyása négy víztestet ölel fel (1. táblázat). Legfelső szakasza a Marcal-forrásvidék (víztestkódja: AEP776), ezt követően a Marcal Torna-patakig (AEP778), majd a Marcal Gerence-patakig (AEP779), végül a Marcal torkolati része (AEP777) következik. A Marcal a Torna-patak betorkollása alatti szakaszán 7L típusú: síkvidéki, meszes geokémiai jellegű, nagy vízgyűjtővíz víztest, mederanyaga közepes-finom szemcse-

méretű kavics-sóder-homok-iszap, a parton némi köve-zéssel. A kisvízi meder 7-10 méter széles, mely a torkolati szakaszon már 10-15 méterre szélesedik. Mélysége leggyakoribb vízhozamnál 1-2 méter, általában a mederfenéig átlátszó, huminanyagokkal enyhén barnásra színezett. A két alsó víztest erősen módosított, hiszen teljes hosszon történtek mederrendezési munkák, már az 1870-es évektől kezdődően. Meliorációs munkák és árvízi mentesítések folytán a középső szakaszokon depónia, míg az alsó szakaszon töltések kialakítására került sor. A síkvidéki, kis esés miatt jellemző a feliszapolódás, így időnként a meder jó karba helyezéséhez mederkotrásra is volt szükség (VGT2 2015).

1. táblázat. A Marcal víztestjeinek besorolása, típusa és a VGT-kben elért minősítési eredményei
(Megjegyzés: 1: kiváló, 2: jó, 3: mérsékelt, 4: gyenge, 5: rossz állapot)

Table 1. Type and classification results of water bodies of the Marcal in the VGTs
(Note: 1: high, 2: good, 3: moderate, 4: poor, 5: bad status)

Víztest	Típus	VGT1 (2009)			VGT2 (2015)			VGT3 (2021)			
		biológia	fizikai-kémia	integrált	biológia	fizikai-kémia	integrált	biológia	fizikai-kémia	integrált	
Marcal forrás-vidék	3S dombvidéki, közepes esésű, kicsi vízgyűjtővíz	természetes	3	3	3	3	4	3	3	4	3
Marcal Torna-patakig	6M síkvidéki, kis esésű, közepes vízgyűjtővíz	természetes	3	3	3	3	2	3	3	3	3
Marcal Gerence-patakig	7L síkvidéki, kis esésű, nagy vízgyűjtővíz	erősen módosított	3	2	3	3	2	3	3	2	3
Marcal torkolati része	7L síkvidéki, kis esésű, nagy vízgyűjtővíz	erősen módosított	3	3	3	3	2	3	2	3	3

Az 1. táblázat a víztestek alapjellemezői mellett bemutatja a vízgyűjtő-gazdálkodási tervek (VGT) biológiai és fizikai-kémiai minősítési eredményeit is. A VGT1-es értékek a vörösiszap-katasztrófa előtti időszak mérésein alapulnak, így viszonyítási alapként is szolgálnak. Azonban az egyes VGT ciklusok minősítése több évet fog át és látható, hogy még egy ilyen súlyos környezetterhelés sem mutatkozik meg az itt megadott állapotértékeken. Mivel célunk a szennyezés hatásainak felmérése, az állapotváltozások nyomon követése volt, ezért finomabb léptékű, évek szerinti bontásban megadott elemzést, értékelést végeztünk. Ennek során a fizikai-kémiai adatokat 2008-tól, az élőlény-együttesek vizsgálati

eredményeit 2010-től 2020-ig dolgoztuk fel. A 2. táblázat és a 2. ábra mutatja be, hogy az egyes mintavételi helyeken milyen vizsgálatok történtek. A VKI monitoringot négy biológiai elem (fitoplankton, fitobentosz, makrofita, makrozoobenton) és a fizikai-kémiai paraméterek esetében a Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatal Környezetvédelmi Mérőközpontja végezte, ezen kívül Boda Pál makrozoobenton és Lukács Balázs András makrofita vizsgálatait vettük figyelembe, melyek a VKI monitoringgal megegyező módszerekkel készültek. A halfaunisztikai felmérések a KEOP-7.9.0/12-2013-0007 és a KEHOP-1.1.0-15-2016-00008 projekt keretében történtek.

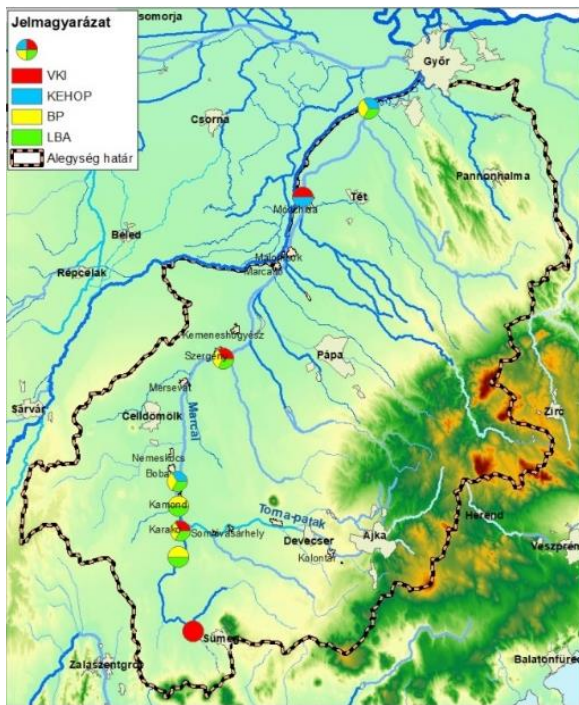
2. táblázat. Vizsgálatai helyek és koordinátáik a Marcalon

(Rövidítések: VKI: VKI monitoring fitoplankton, fitobentosz, makrofita, makrozoobenton, fizikai-kémiai vizsgálatok, KEHOP: KEOP-7.9.0/12-2013-0007 és KEHOP-1.1.0-15-2016-00008 projektek hal vizsgálatai, BP: Boda Pál makrozoobenton vizsgálatai, LBA: Lukács Balázs András makrofita vizsgálatai)

Table 2. Monitoring sites and their coordinates on the Marcal

(Abbreviations: VKI: WFD monitoring of phytoplankton, phyto-benthos, macrophytes, macrozoobenthos, physico-chemical elements, KEHOP: fish monitoring of KEOP-7.9.0/12-2013-0007 and KEHOP-1.1.0-15-2016-00008 projects, BP: Pál Boda's macrozoobenthos monitoring, LBA: Balázs András Lukács's macrophytes monitoring)

	Mintavételi hely	Vörösiszap	EOV Y	EOV X	VKI	KEHOP	BP	LBA
1	Sümege	nem terhelt	511908	183992	x	–	–	–
2	Nemeskeresztúr	nem terhelt	509892	194099	–	–	x	x
3	Karakó	terhelt	510195	198746	x	–	x	x
4	Kamond	terhelt	509908	201123	–	–	x	x
5	Boba	terhelt	509736	204332	–	x	x	x
6	Szergény	terhelt	515984	220980	x	–	x	x
7	Mórichida	terhelt	526796	242887	x	x	–	–
8	Győr	terhelt	535769	254916	–	x	x	x



2. ábra. A vizsgálati helyek áttekintő térképe a Marcalon (Baranyai 2021)

Figure 2. Biological sampling sites on the Marcal (Baranyai 2021)

A biológiai elemekre hatással levő fizikai-kémiai paraméterek vizsgálati körét, módszertanát a VKI V. melléklete és a vízgyűjtő-gazdálkodási tervek rögzítik. A biológiai vizsgálati módszerek a feldolgozott időszak közepén a 2. Vízgyűjtő-gazdálkodási Tervben (VGT2 2015) továbbfejlesztésre kerültek az alábbiak szerint: fitoplankton: Borics és társai (2015), fitobenton: Ács és társai (2015), makrozoobenton: Várbíró és társai (2015), makrofiton: Lukács és társai (2015), halak: Erős és társai (2015a), Sály és Erős (2016). A mintavételi eljárások a katasztrófa óta eltelt 10 évben lényegileg változatlanok maradtak, így a VGT2 előtti mintavételek is az itt felsorolt leírásokkal egyezően történtek. Az értékelési módszerek jelentős módosulásai miatt viszont a minősítéseket a 2016 előtti évekre kiterjedően visszamenőleg is elvégeztük a fenti útmutatók szerint. Az adatokat a Hidrobiológiai Értékelő és Nyilvántartó Rendszerbe (HÉR v1.1) rögzítettük, majd ezen adatbázisprogram metrikáinak használatával végeztük az értékelést, minősítést és a különböző kimutatások lekérdezését Ficsór (2019) leírása alapján.

Az erősen lúgos vörösiszap szennyezés hatásainak feltárására és az állapotváltozások folyamatos nyomon követésére a VKI által előírt biológiai elemek közül leginkább a makrozoobenton vizsgálataink bizonyultak alkalmasnak, ezeknek az eredményeit mutatjuk be részletesebben. Ez az élőlénycsoport hamar és detektálhatóan reagál a hidromorfológiai elváltozásokra és a toxikus anyagokra, ezért ilyen jellegű terhelések indikálására alkalmazzák a monitoringban (1155/2016. (III. 31.) Korm. határozat, ill. 31/2004. (XII.30.) KvVM rendelet). Mivel a mintavétel során a módszertan előírásai szerint az aljzatot szinte „átfésüljük”, így láthatóvá válik a vörösiszap kiülepedésének mértéke, az, hogy az mennyire

módosítja a természetes aljzatot, illetve a hidromorfológiai jellemzőket. Másrészt az állapotértékelésen túl az ökotoxikológiai tesztekhez hasonlóan a megfogott állatoknak a megszokottól eltérő mozgása, viselkedése is jelezheti a mérgező anyagok jelenlétét. A növényi monitoring elemek – fitoplankton, fitobenton, makrofiton – a katasztrófa időpontjában állapotértékelésre a vegetációs perióduson kívüli időpontból (október) adódóan, illetve a módszertani előírások miatt csak korlátozottan voltak használhatók. Halfaunisztikai felmérés pedig nincs minden évben, a VKI hatévente egyszer írja elő, ezért az állapotváltozások folyamatának nyomonkövetésére a halas VKI monitoring kevésbé alkalmas. Emellett ez a vizsgálat komolyabb speciális felszerelést, engedélyeket, szakértelmet igényel, ezért nem is a hatósági laboratóriumok, hanem projekt jelleggel külső szakértők, kutatóintézetek végzik (Kovács és társai 2021).

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

Makrozoobenton



1. kép. A Marcal Mórchidánál a vörösiszap szennyezés előtt (Fotó: Kovács 2010)

Photo 1. Marcal at Mórchida before the red mud pollution (Photo: Kovács 2010)

Közvetlenül a vörösiszap áradat levonulása után a mórchidai mintavételi pontunkon végeztünk vizsgálatokat. Ez a Marcal torkolati része nevű víztest reprezentatív szakasza, a VKI előírásai szerint működő mérőhálózat feltáró (felügyeleti) monitoringjába tartozik, ami a víztestek jellemzésére, hosszú távú természetes, ill. antropogén eredetű változásainak követésére szolgál (31/2004. (XII.30.) KvVM rendelet). Ebből következően a katasztrófa előtti állapotokról is vannak adataink, ami alapállapotként vehető figyelembe a vörösiszap hatásainak értékelésében (1. kép).

A 7. típusú víztestek makrozoobenton referenciális közösségeire az EPTCOB (Ephemeroptera - kérész, Plecoptera - álkérész, Trichoptera - tegzes, Coleoptera - bogár, Odonata - szitakötő, Bivalvia - kagyló) taxonok magas aránya jellemző (Várbiro és társai 2015). A 2010. áprilisban – azaz még a katasztrófát megelőzően – vett minta eredményei megfelelnek egy kevésbé terhelt, viszonylag természetes állapotú vízfolyás esetében elvártaknak: 4 kérész, 10 tegzes, 3 bogár, 5 szitakötő és 4 kagyló fajt találtunk, álkérész nem volt, összesen 47 taxont mutattunk ki (a 10 éves adatsorunkat áttekintve a taxonszámok mintánként jellemzően 35-50 között alakulnak). Az egyedszámok tekintetében a rovarok közül több faj is néhány tízes nagyságrendben fordult elő és kagylófaj is volt jelen hasonló mennyiségben. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a Marcal makrogerinctelen élőlényegyüttesét síkvidéki faunaelemek, lassan áramló vizeket kedvelő fajok alkotják. A fentiek alapján az állapotértékelés a havária előtti tavaszon még jó minősítést eredményezett, az EQR (ökológiai minőségi arány) értéke 0,72 volt.

Ehhez képest 2010. október 15-én, 11 nappal a tározó átszakadása után aggasztó állapotokat tapasztaltunk. A folyóban és az ártéren mindenfelé vörösiszap és a szennyezés semlegesítésére használt gipsz nyomai látszóttak. A vastagon lerakódott üledék az állatok természetes élőhelyeit, változatos mikrohabitatjait szinte teljesen egységesen beborította (2. kép). A növényeken és az állatokon is gipszes bevonatréteg képződött (3. kép). Szennyeztelen vizekből vett mintákban néhány üres csigaházról eltekintve elhalt egyedek jelenléte általában nem jellemző, itt viszont elpusztult, foszló állattetemek hevertek elszórtan és az élők is csak "kábulant" mozogtak. A folyó élővilágának károsodásán, kipusztulásán túl a gerinctelen állatok és a halak tetemei még közegészségügyi veszélyforrást is jelentettek. A katasztrófa hatásai olyan súlyosak voltak, hogy nemcsak a Torna-patakon és a Marcalon, hanem a Rábán, a Mosoni-Dunán, sőt még a Dunán is láttunk hasonló jelenségeket, a szennyező forrástól távolodva egyre csökkenő mértékben.



2. kép. A kiülepedett vörösiszap felkeveredése makrozoobenton mintavétel közben (Fotó: Kovács 2010)
Photo 2. Agitation of settled red mud during macrozoobenton sampling (Photo: Kovács 2010)

Az elvégzett vizsgálat látványosan megmutatta a levonult szennyezés hatását, a minősítés: rossz! A taxonszám a felére esett vissza, nagy mintavételi erőfeszítés árán is csak mindössze 24-et tudtunk begyűjteni. Az egyedszámok is drasztikusan lecsökkentek, nagyságren-

dileg körülbelül tizedére, általában fajonként csak néhány példányt találtunk, mindössze egyetlen szövőtegzes faj egyedszáma haladta meg a 10-et. Tömegesen csak kevésertéjű gyűrűsférgék fordultak elő, amelyek egyedszáma a többi gerinctelen csoport megfogyatkozásával, eltűnésével párhuzamosan feltűnően nagy volt, az általában tapasztalt néhány, vagy néhány 10 példány helyett közel 400. Ezt az magyarázhatja, hogy az Oligochaeta fajok kevésbé érzékenyek a szennyezésekre, másrészt a ragadozók száma nagyon lecsökkent.



3. kép. Szövőtegzes lárva a ráarakódott gipszréteggel
(Fotó: Kovács 2010)

Photo 3. Gypsum layer on a net-spinning caddisfly larvae
(Photo: Kovács 2010)

Úgy tűnik leginkább azok éltek túl, amelyek a szennyezés óráiban behúzódhattak az iszapba (Oligochaeta), illetve be tudtak zárkozni a házukba (csigák, kagylók, szövőtegzesek). A közönséges tarkakérész (*Ephemera vulgata*) erős ásólábaival ugyancsak képes lehetett az aljzatba menekülni.

A katasztrófa hatásaira és az azt követő kezdeti időszakra vonatkozó megállapításainkat Üveges és társai (2011) eredményei is alátámasztják, a Marcalban a vízi gerinctelen fauna pusztulását 90%-ra becsülték, az élőlényegyüttes tehát szinte megsemmisült. A regenerálódás vonatkozásában így elviekben hasonló helyzet állt elő, mint amikor egy újonnan létesülő vizes élőhely elkezd benépesülni. De ilyen súlyos behatások után ennek menete, sikeressége kérdéses volt. Például Selmeczy és társai (2013) a szennyezést követően 1 éven át vizsgálták az ökológiai összefüggéseket, a táplálékhálózatbeli változásokat, a gerinctelen makrofauna funkcionális összetételét és megállapításuk az alábbiak voltak: ragadozók – pl. szitakötőlárvák – ugyan vannak, de a szennyezés hatásaként táplálékbázisuk megszűnt. A szerves anyagok aprítását és táplálékhálózatba csatornázását végző felemás-lábú rákok (Amphipoda) elpusztultak, vagy nem voltak kimutathatóak. Az algabevonat-legelő csigák túlélése is kérdéses, mert a felületeket vastagon fedte a vörösiszap és/vagy a gipsz. A gyors regeneráció az élőhelypusztulás miatt ugyancsak kétséges, a mikrohabitatokat elsodorta az ár, vagy a leülepedett szennyezés fedi. A fentiekkel összefüggésben kezdetben arra lehetett számítani, hogy ez kihatással lesz a halfauna regenerációjára is, a gyors visszatelepülést a táplálékhiány fogja gátolni, mivel a fő

táplálékukat jelentő vízi makroszkopikus gerinctelen szervezetek kipusztultak. Utóbbiak regenerálódása alapvető feltétel a korábbi halállomány megjelenéséhez.

A katasztrófa hatásainak szélesebb körű feltérképezésére, a változások és a regenerálódás nyomon követésére a szennyezést követő évben kiterjedtebb vizsgálatot végeztünk a folyón (3. táblázat). A forrásvidéket, Sümeg térségét nem érintette a vörösiszap, hiszen ez jóval a Torna betorkollása felett van, így ennek a szakasznak az állapota 2011-ben jó minőségű. A karakói mintavételi helyünk, bár a Torna-patak betorkollása felett van, azonban a lezúduló erősen lúgos vörösiszap ár okozta hirtelen megemelkedett vízszint miatt a víz itt átmenetileg a torkolat felől „felfelé” áramlott, így a monitoring pontunkra is eljutott a szennyezés. Másrészt, valószínűleg az ár visszaduzzasztó hatása miatt, látszólag itt rakódott le a legtöbb iszap. Állapota a vízi makrogerinctelenek alapján 2011. áprilisban mérsékelt, ősszel gyenge minőségű volt. Szergénynél 2011. áprilisban még erősen érződött a szennyezés hatása: rossz állapotú volt, de őszre jóra változtak az eredmények.

Mórichidán 2011-ben az egyik vizsgálat mérsékelt, a másik már jó állapotot jelzett. Ezután pedig 2012-től 2020-ig minden vizsgálat során legalább jó, sőt három alkalommal kiváló eredményt kaptunk. A monitoring eredmények javulásával összefüggésben a kevéssertéjű gyűrűsférgék egyedszáma 2013-ra fokozatosan 100 alá csökkent, szinte indikálva a regenerálódás előrehaladását. 2012 és 2020 között öt alkalommal Szergénynél is vizsgáltunk, ebből egy mérsékelt, a többi pedig jó állapotot jelzett. Azt viszont meg kell említeni, hogy Karakónál a

vörös üledék még 2015-ben is felkavarodott, a minősített eredménye a 2011. tavaszhoz hasonlóan mérsékelt volt.

A VKI monitoringon kívül végzett vizsgálatok (Nemeskeresztúr, Kamond, Boba, Győr) is hasonló tendenciákat mutattak. A 2012-ben még tapasztalt gyenge és mérsékelt eredmények a következő két év során jó és kiváló értékekre javultak. Kivéve Karakó térsége, ami ezekben a vizsgálatokban is leginkább csak mérsékelt, ide értve a közeli Nemeskeresztúrt is, pedig oda a vörösiszap szennyezésből már nem került. További kutatásokat igényelne, hogy ez a szakasz miért nem igazodott a többihez hasonlóan, esetleg 2015 után javult-e, de minden valószínűség szerint itt más eredetű terhelés folyamatos jelenlétéről van szó.

A kedvező tendenciákat a „nem VKI” monitoringos vizsgálatokban is mutatja a fajszámok emelkedése, az összegyedszámok pedig már ezekben a mintákban sem 100 alattiak, hanem több száz és néhány ezer nagyságrendben alakulnak, hasonlóan a Környezetvédelmi Mérőközpont eredményeihez. A 2020-as vizsgálatok alapján a makrozoobenton fauna jó állapotot jelez Bobánál és Szergénynél is. Utóbbi helyen a mintavétel a VKI monitoringgal egyező időszakban történt, az azonos eredmény (jó) igazolja a vizsgálati módszerek hasonlóságát és megerősíti az értékelés megbízhatóságát (3. táblázat).

Érdekes megfigyelés, hogy 2013 és 2016 között több helyen átmenetileg kiváló eredményeket kaptunk, majd a későbbiekben kis visszaesés után a jó lett a jellemző állapot (3. táblázat). A regenerálódás tehát az idő előre haladtával nem egyenletesen zajlott, hanem kisebb fluktuáció után stabilizálódott a folyó állapota.

3a. táblázat. Biológiai vizsgálatok eredményei a Marcalon 2010 és 2020 között

(Rövidítés: Fp: fitoplankton, Fb: fitobentosz, Mf: makrofita, Mzb: makrozoobenton, 1: kiváló, 2: jó, 3: mérsékelt, 4: gyenge, 5: rossz állapot, B: Boda P. vizsgálatai, L: Lukács B. A. vizsgálatai)

Table 3. Results of biological surveys on the Marcal between 2010 and 2020

(Abreviation: Fp: phytoplankton, Fb: phytobenthos, Mf: macrophytes, Mzb: macroinvertebrates, 1: high, 2: good, 3: moderate, 4: poor, 5: bad status, B: P. Boda's surveys, L: B. A. Lukács' surveys)

	Sümeg				Nemeskeresztúr		Karakó				Kamond		Boba		
	Fp éves	Fb éves	Mf	Mzb	Mf	Mzb	Fp éves	Fb éves	Mf	Mzb	Mf	Mzb	Mf	Mzb	Hal
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	2	1	1	2	-	-	2	2	2	3	4	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	2 L	3 B	-	-	-	-	-	3 L	4 B	-	-
2013	-	-	-	-	2 L	3 B	-	-	2 L	-	1 B	3 L	2 B	3 L	2 B
2014	-	-	-	-	2 L	3 B	-	-	2 L	3 B	-	3 L	1 B	3 L	1 B
2015	-	-	-	-	-	-	1	2	3	3	-	-	-	-	2
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 L	2 B	-

3b. táblázat. Biológiai vizsgálatok eredményei a Marcalon 2010 és 2020 között

(Rövidítés: Fp: fitoplankton, Fb: fitobentosz, Mf: makrofita, Mzb: makrozoobenton, 1: kiváló, 2: jó, 3: mérsékelt, 4: gyenge, 5: rossz állapot, B: Boda P. vizsgálatai, L: Lukács B. A. vizsgálatai)

Table 3. Results of biological surveys on the Marcal between 2010 and 2020

(Abbreviation: Fp: phytoplankton, Fb: phytobenthos, Mf: macrophytes, Mzb: macroinvertebrates, 1: high, 2: good, 3: moderate, 4: poor, 5: bad status, B: P. Boda's surveys, L: B. A. Lukács' surveys)

	Szergény					Mórichida					Győr		
	Fp éves	Fb éves	Mf	Mzb		Fp éves	Fb éves	Mf	Mzb	Hal	Mf	Mzb	Hal
2010	-	-	-	-	-	3	2	3	2	5	-	-	-
2011	2	2	4	5	2	3	2	3	2	3	-	-	-
2012	3	2	4	-	2	2	2	3	2	-	3 L	3 B	-
2013	2	2	3 3 L	3	1B	2	2	2	2	1	3 L	2 B	-
2014	-	-	3 L	2 B	-	1	2	3	2	2	3 L	1 B	-
2015	2	2	3	2	-	2	2	2	2	2	-	-	2
2016	-	-	-	-	-	2	2	2	1	1	-	-	-
2017	-	-	-	-	-	2	2	3	2	-	-	-	-
2018	3	-	-	2	-	2	2	2	2	2	-	-	-
2019	-	-	-	-	-	2	2	3	2	2	-	-	-
2020	3	2	3 3 L	2	2	2	2	3	2	2	-	-	-

Eredményeinket összegezve megállapítható, hogy az erősen lúgos vörösiszap szennyezés súlyos károkat okozott a Marcal makrogerinctelen élővilágában, annak nagy része elpusztult. A regenerálódás hamar megindult, valószínűsíthetően a Marcal felsőbb, szennyezéssel nem érintett szakasza és a befolyók, valamint alulról a Rába felől. Már 1 év alatt érzékelhető javulás következett be, és a körülbelül 2-3 év alatt lezajlott fokozatos javulás után regenerálódott a fauna, rossz és gyenge eredmények már nem jelentkeztek. Összehasonlítva a szennyezés előtti adatokkal, a fauna minőségi és mennyiségi összetételében jelentős különbségek ekkor már nem mutatkoznak. Ezt követően a javulás még tovább folytatódott egyes esetekben egészen a kiváló állapotig, majd kis visszaesés után stabilizálódott a folyó állapota a makrogerinctelen élőlényegyüttes alapján nézve. Összehasonlításképpen, szakértők általános vélekedése szerint 2000-ben a Tiszán történt cianid szennyezés után is megközelítőleg hasonló ütemben, 3-4 év alatt állt helyre az alacsonyabb rendű élőlények állománya. Ezt egyéb célú vizsgálatok publikált eredményei is alátámasztják, például *Móra és társai* (2005), *Kiss és társai* (2006).

Az elmúlt 10 év távlatában a VKI monitoring és más vízi makrogerinctelen vizsgálatok eredményei alapján elmondható, hogy a Marcal a katasztrófa utáni sokkot kiheverve a forrásvidéktől a torkolatig néhány esetben a kiváló is elérte, de általában jó, helyenként néha közepes volt. Faunájában meghatározóak az adott víztípusra jellemző karakter fajcsoportok. Még álkérész előfordulását is kimutattuk a felsőbb szakaszokon Karakó és a forrásvidék térségében, igaz, az egy gyakori faj, a közönséges álkérész (*Nemoura cinerea*) volt. Védett fajok (13/2001. (V. 9.) *KöM rendelet*) is kerültek elő: például kecskerák (*Astacus leptodactylus*) (4. kép), feketelábú folyami-

szitakötő (*Gomphus vulgatissimus*), díszes légivadász (*Coenagrion ornatum*), mocsári szitakötő (*Libellula fulva*). A torkolat környékén 2007-ben végeztünk vizsgálatot, ahol további két védett fajt, rajzos bödöncsigát (*Theodoxus danubialis*) és folyamcsigát (*Fagotia daudebartii*) is találtunk, ami a Rába és a Mosoni-Duna közelségével magyarázható, mivel e két faj ott gyakori.



4. kép. A kecskerák Szergényénél – az utóbbi években többször előkerült védett faj (Fotó: Kettinger)

Photo 4. Narrow-clawed crayfish at Szergény – protected species, appeared several times in recent years (Photo: Kettinger)

Várbíró és társai (2015) leírása szerint nagy folyók mentén invazív fajok megjelenésére, terjedésére is lehet számítani. A monitoring eredmények igazolják, hogy ezzel a jelenséggel már a Marcalon is egyre inkább számolni kell. A *Báldi és társai* (2017) által közölt behurcolt és inváziós fajok listájában szereplők közül a hegyes (jövevény) hólyagsziga (*Physella acuta*) régebb óta jelen van a folyóban és egy 2007-es vizsgálat során a torkolatnál pontuszi tanúrákot (*Limnomysis benedeni*) is találtunk. Az utóbbi években több új faj is megjelent. Első-

ként 2015-től a pontuszi bolharák (*Dikerogammarus haemobaphes*) kezdett terjeszkedni, előbb a torkolati szakaszon, ahol azóta minden évben előkerült, majd később már feljebb, Szergénynél is megtaláltuk. Az amuri kagylót (*Sinanodonta woodiana*) 2016-ban, a redős kósárgylót (*Corbicula fluminea*) 2019-ben figyeltünk meg először az alsó szakaszon. Ugyancsak itt jelent meg 2016-ban a foltos planária (*Girardia tigrina*), amely Báldi és társai (2017) listájában nem szerepel, de Kovács és Fülep (2011) szerint szintén idegenhonosnak számít. Az utóbbi három faj a felbukkanás óta eltelt pár év alatt legalább további egy alkalommal ismételt előkerült. Bolygatással a vizek sérülékenyebbé, kevésbé ellenállóvá válhatnak az invazív fajokkal szemben, így a vörösiszap szennyezés és áradat levonulásának, illetve az azt követő beavatkozásoknak is lehet szerepe a terjedésükben.

Halak

A VKI monitoring keretében 6 éves ciklusonként csak egy halfaunisztikai felmérés van előírva, így a katasztrófa közvetlen hatását, illetve a regenerálódást a halak vonatkozásában más kutatások eredményein keresztül tudjuk bemutatni.

Takács és társai (2012) 2010 októberben végzett vizsgálatai kimutatták, hogy az erősen lúgos vörösiszap ár az érintett Marcal-szakasz teljes halfaunáját kipusztította, az előkerült néhány egyed a befolyókból és a felsőbb, nem szennyezett szakaszból érkezhetett. A part számos helyen haltetekkel volt borítva. 2011 tavaszán már jelentős és relatíve fajgazdag állományokat találtak, elsősorban a befolyókban és a felsőbb Marcal-szakaszokon is gyakori fajok domináltak. Már védett faj is került elő, igaz, a szívárványos ökle közönségesnek számít. A nyári és az őszi fogásokban nagyobb egyed-számban jelentek meg a befogadókban gyakori fajok is. Következtetésük az volt, hogy a halfauna regenerálódása a szennyezés fő hullámának levonulása után megindult, továbbá, hogy a halállományok eredetihez hasonló mennyiségének, faji összetételének, abundancia viszonyainak, illetve természetes koreloszlásának kialakulásához több évre lesz szükség.

Sallai 2012-es vizsgálatai során az alábbiakat állapította meg: A friss halivadékok már önfenntartó populációt jeleznek. A magas faj- és egyedszám arra utal, hogy a regenerálódás előrehaladott, ami a Rába és a befolyók felől történő kolonizációnak köszönhető. A szennyezés előtti és utáni adatokat összehasonlítva a fauna minőségi és mennyiségi összetételében jelentős különbségek már nem mutatkoznak. A védett és a veszélyeztetett fajok aránya magas. A Marcalból a szennyezést megelőzően 39 faj jelenlétét írták le, az azt követő felméréseknél eddig 35 halfaj jelenléte bizonyított. A folyó méreteihez és élőhelyi adottságaihoz viszonyítva, nem beszélve a szennyezésről, ez jó eredmény.

Erős és társai (2015b) a katasztrófától kezdve 3 éven keresztül vizsgálták a halfauna visszatelepülését és azt tapasztalták, hogy az viszonylag gyorsan zajlott. A fajok elsősorban a vízgyűjtőn tapasztalt előfordulási gyakoriságuk és mennyiségi viszonyaiknak megfelelően települtek vissza a folyóba. Nem tapasztalták idegen-honos inváziós fajok

gyors elszaporodását, annak ellenére, hogy a vízgyűjtőn számos ilyen faj jelenléte igazolt. Ebből arra következtettünk, hogy a Marcalon a szennyezést követő első években a feltételezésekkel ellentétben a halak esetében az élőhelyek zavarása nem idézte elő inváziós fajok terjedését. Kérdés, hogy a vízi gerinctelenekhez hasonlóan az évtized második felében nem történt-e változás ezen a téren?

A KEOP-7.9.0/12-2013-0007 projekt keretében 2015-ben VKI monitoringos halvizsgálat volt a folyón, három helyen: Bobán, Móríchidán és a torkolati duzzasztó környékén. Mindegyik szakasz halfaunája jó állapotot mutatott. 2019-ben pedig Móríchidán került sor egy újabb felmérésre, ami szintén jó eredménnyel végződött (KEHOP-1.1.0-15-2016-00008). Megemlítjük még, hogy a makrozoobenton mintavételek közben véletlenszerűen néha halak is akadtak a hálókba, pl. szívárványos ökle, de 2011-ben, 2012-ben és 2017-ben vágó csíkot is fogtunk, amely szintén védett. Legújabbban egy lesóharcsa került a hálóba. A fenti eredmények arra engednek következtetni, hogy a Marcal jelenleg a halak szempontjából jó ökológiai állapotban van.

Makrofita

Az előbbi két élőlényegyütteshez képest kevésbé drasztikus, de még így is látványos károsodást szenvedtek a makrofitonok. A lúg hatására a nád és a sás kifakult, a fűszárú növényzet pedig lehullatta a levelét és száradásnak indult (Szlávik 2020).



5. kép. Megviselt, gipsszel borított makrofita növényzet (Fotó: Kovács 2010)

Photo 5. Damaged, gypsum-covered macrophytic vegetation (Photo: Kovács 2010)

A vörösiszap szennyezés után 2010-ben Móríchidánál végeztünk vizsgálatot. Mindössze 7 fajt találtunk az általában jellemző közel 20-hoz képest, igaz, a levonult nagy áradás a növények egy részét el is sodorhatta, továbbá az októberi időpont már az előírt növényzet-felmérési szezonon kívül esik. A növényeket vörösiszap és gipsz borította (5. kép). A minősítés mérsékelt volt. A továbbiakban a vörösiszappal nem érintett forrásvidék 2011-ben kiváló, a szergényi szakasz viszont gyenge volt. Itt még 2012-ben is gyenge volt az ökológiai állapot a növényzet alapján, csak egy évvel később érte el a mérsékeltet. A többi VKI mintavételi helyen és időpontokban váltakozva jó és mérsékelt eredményeket kaptunk a Marcalon.

A VKI monitoringon kívül végzett makrofita vizsgálatok (Nemeskeresztúr, Kemenespálfa, Boba, Kemenesmagasi, Győr) is egyre növekvő fajszámokat mutattak.

Ezek a helyek a 2012-13-ban megfigyelt 6-7 faj 2014-re 20 körülre emelkedett, ami hasonlít a VKI monitoring eredményeire. A felmérések alapján ekkor a vizsgált szakaszok növényzeti képe természetes volt. Idegen honos növények nem voltak jellemzőek, zavarásjelző fajok nem domináltak. Minden helyen és időben mérsékelt vagy jó volt a vízi és mocsári növényzet alapján a folyó állapota. A 2020-as makrofita felmérések jó állapotot jeleztek Bobánál és Szergéynél is. Utóbbi helyen a mintavétel két alkalommal is a VKI monitoringgal egyező időszakban történt, az azonos eredmény (mérsékelt) igazolja a vizsgálati módszerek hasonlóságát és megerősíti az értékelés megbízhatóságát (3. táblázat).

A további két VKI-s biológiai minőségi elem a katasztrófa hatásaira nem reagált érzékenyen, de a folyó általános ökológiai állapotának meghatározásához ezek vizsgálatára is szükség van.

Fitoplankton

A lúgos vörösiszap nem károsította tartósan a planktonikus algaflórát, hiszen egy rövid generációs idejű csoportról van szó. Mórachidánál a katasztrófa előtt és után is mérsékelt volt a fitoplankton éves minősítése. *Borics és társai (2015)* szerint a természetes vízfolyások esetében a fitoplankton vizsgálata a síkvidéki, és főleg a nagy vízgyűjtőjű víztestek vonatkozásában releváns és indikatív az ökológiai állapot meghatározásához, a Marcalon az alsó két víztest tartozik ebbe a körbe. A 3. táblázatban az éves minősítési eredményeket mutatjuk be, ami az adott évben júniustól szeptemberig végzett négy vizsgálat eredményének átlagából adódik. Sümegnél csak 2011-ben volt vizsgálat, ennek az eredménye jó volt. Karakónál 2011-ben jó, 2015-ben kiváló, Szergéynél váltakozóan jó, illetve mérsékelt állapotot jeleztek a planktonikus alga vizsgálatok. Mórachidánál 2010 óta kis javulás mutatkozik, mérsékeltől jóra változott, sőt 2014-ben kiváló is volt a folyó állapota a fitoplankton alapján.

Fitobentosz

A bevonatkozó kovaalga vizsgálataink a vörösiszap-katasztrófa időszakában nem mutattak jelentős változást a Marcalon, a forrásvidék 2011-ben kiváló, a többi hely egyöntetűen minden vizsgálat alkalmával jó állapotú volt és az évek során azóta is folyamatosan jó maradt. Úgy tűnik, a vörösiszap, a gipsz és a lúg sem jelentett olyan jelentős hatást a fitobentosz számára, amely akár csak egy osztálynyi romlást eredményezett volna a minősítésben. Mindössze annyi volt tapasztalható, hogy a szennyezést követően kezdetben kissé alacsonyabb EQR értékeket kaptunk. A Marcalon levő monitoring pontjaink 10 évet átfogó méréseit figyelembe véve általában 0,7 körüli értékek jellemzőek. Karakó és Szergéynél ennél közel 0,1 tizeddel alacsonyabb értékeket mutatott 2011-ben, tehát a jó minősítési osztály alsó határához közeli voltak az eredmények. Előbbiekhez hasonló következtetésre jutott *Úveges és társai (2011)*, miután mélyebbre ható vizsgálataik kimutatták, hogy bár a fajösszetétel átrendeződött és a diverzitás elmarad a korábbiaktól, de a minősítés ennek ellenére is jó állapotot jelzett, ami megegyezik a szennyezés előtti eredménnyel.

A Marcal biológiai állapotáról a bemutatott eredmények ismeretében az alábbiakat mondhatjuk el: rossz, vagy gyenge állapotot csak a katasztrófa idején és az azt követő két évben tapasztaltunk. 2013-tól minden biológiai elem legalább mérsékelt állapotot jelzett. A folyó általános biológiai állapotát úgy állapíthatjuk meg, hogy víztestenként áttekintjük az élőlényegyüttesek éves minősítését, amiből a leggyengébb eredmény határozza meg a szakasz állapotát. A vörösiszap-szennyezéssel érintett szakaszokon az élővilág regenerálódását követően a mérsékelt állapot lett jellemző, de az alsó szakasz 2013-ban, 2015-ben, 2016-ban és 2018-ban elérte a jó állapotot is, ami azt eredményezte, hogy a VGT3-ban a biológiai állapot átfogó minősítése javulást mutatott ki az előző két ciklushoz képest (1. táblázat). Mérsékelt állapotot leginkább a makrofita, és néha a fitoplankton mutat, a Marcal egyes szakaszai ezek miatt időnként nem érik el a VKI által kitűzött célt, a jó állapotot. Ennek okai lehetnek a vízgyűjtőt érő terhelések, szennyvíz, diffúz mezőgazdasági terhelés (növényi tápanyagok), illetve mederfenntartási munkálatok. A jó állapot elérése érdekében végzendő intézkedéseknek elsősorban ezen a téren kell javulást megcélozni.

Fizikai és kémiai jellemzők

A biológiai elemekre hatással levő fizikai-kémiai komponensek éves minősítéseiben nem jelenik meg a szennyezés hatása. Az erősen lúgos vörösiszap súlyos környezetterhelése a havi gyakoriságú VKI monitoringban kevésbé, inkább a havária alatt végzett rendkívüli és sűrű mérési eredményekben követhető nyomon. A szennyezés viszonylag gyorsan levonult, így a katasztrófát követően körülbelül másfél-két hétig voltak jellemzőek kiugró értékek (pl. magas pH és vezetőképesség), amelyek aztán a havária elmúltával a sokéves átlagok környékén állapodtak meg (*Szlávik 2020*). A 4. táblázatban a szennyezőforráshoz közelebbi, így a terhelésnek jobban kitett Marcal Gerence-patakig nevű szakasz szergényi mintavételi pontjának példáján mutatjuk be, hogy a fizikai-kémiai jellemzőket illetően a minősítési eredményeken nem látszik feltűnő elmozdulás, 2013-at kivéve minden évben jó állapotot mutat a folyó. Ennek megfelelően a VGT ciklusok átfogó minősítése is azt mutatja, hogy a víztest állapota a 2015-ös VGT2 szerint megegyezik a katasztrófa előtti időszakot jellemző VGT1-es eredménnyel, és a VGT3 alapján is változatlanul jó fizikai-kémiai állapotban van. A vörösiszap szennyezéssel érintett másik víztest, a Marcal torkolati része csak a VGT2 időszakában érte el a VKI által célként megfogalmazott jó állapotot, míg a VGT3 időszakában, hasonlóan a VGT1-hez mérsékelt fizikai-kémiai állapotot mutatott (1. táblázat). A 4. táblázatból az is látható, hogy a Marcal fizikai-kémiai minősítésének eredményét a tápanyag-osztály paramétere határozzák meg. A vörösiszap-szennyezés ezt a komponenscsoportot nem befolyásolta, a tápanyagterhelés a Marcal esetében konstansnak mondható és elsősorban a vízfolyás melletti területek szántóföldi műveléséből eredeztethető.

4. táblázat. A VKI monitoring fizikai-kémiai vizsgálati eredményei Szergéynél
Table 4. Physico-chemical results of the WFD monitoring at Szergény

	Savasodás	Sótartalom	Oxigénháztartás	Növényi tápanyagok	Osztály átlagok maximuma	Minősítés
2008	1	1,5	1,8	2,5	2,5	JÓ
2009	1	2	1	2,5	2,5	JÓ
2010	1	1,5	1,4	2,25	2,25	JÓ
2011	1	1,5	1,2	2,25	2,25	JÓ
2012	1	1,5	1,2	2	2	JÓ
2013	1	1,5	1,4	2,75	2,75	MÉRSÉKELT
2014	1	1,5	1,4	2,5	2,5	JÓ
2015	1	1,5	1,4	2,25	2,25	JÓ
2018	1	1,5	1,4	2,25	2,25	JÓ
2020	1	1,5	1,4	2,5	2,5	JÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

Az erősen lúgos vörösizsap áradat óriási károkat okozott a Marcal élővilágában, a halak teljesen, a makrogerinctelenek nagy részben elpusztultak, és a makrofita növényzet is megsínylette a katasztrófát. A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy habár a környezeti katasztrófa rendkívül súlyos volt, de hamar megindult a folyó élővilágának regenerálódása a szennyezéssel nem érintett szakasz, a befolyók és a Rába felől. A fajszámok, mintánkénti egyedszámok visszaálltak a szennyezés előtti értékekre, újra megjelentek a védett, illetve érzékenyebb fajok. Az élővilág károsodása és a gyors regenerálódás a Tiszát ért cianidos szennyezés hatásaihoz hasonlítható. A Marcal körülbelül 2-3 éves fokozatos javulás után nyerte vissza a korábbi állapotát, ezután a biológiai elemek napjainkig is mérsékelt és jó állapotot mutatnak. Az időközben felbukkant idegenhonos fajok jelenléte, terjedése további figyelmet igényel. A fizikai-kémiai jellemzőket illetően kiugróan rossz értékeket a havária időtartama alatt mértek, de az éves minősítési eredményeken nem látszik jelentős elmozdulás és a szennyezést követő 10 év során is mérsékelt és jó között alakul a folyó állapota. A biológiai és a fizikai-kémiai jellemzőket is figyelembe vevő integrált állapot a Marcal vörösizsap-szennyezéssel érintett mindkét szakasza esetében a katasztrófa előtt és után is változatlanul mérsékelt (1. táblázat). A folyó két felsőbb szakaszára is ez jellemző, így azt mondhatjuk, hogy a Marcal általános állapota mérsékelt. Annak érdekében, hogy a jövőben a vízfolyás egésze a VKI által megfogalmazott célnak megfelelően stabilan jó állapotú (erősen módosított víztestek esetében jó potenciálú) legyen, az elvégzendő intézkedések során elsősorban a makrofita és a fitoplankton által jelzett rendellenességek megoldása szükséges.

IRODALOMJEGYZÉK

- Ács É., Borics G., Kiss K.T., Várbiro G. (2015). Módszertani útmutató a fitobentosz élőlénycsoport VKI szerinti gyűjtéséhez, feldolgozásához és kiértékeléséhez. MTA Ökológiai Kutatóközpont, Tihany, kézirat, pp. 64.
- Baranyai O., Kovács K., Kettinger D., Lukács B.A., Boda P. (2021). Vörösizsap katasztrófa után 10 évvel - állapotváltozások a Marcal folyón. LXII. Hidrobiológus Napok, Tihany, konferenciaelőadás.
- Báldi A., Csányi B., Csorba G., Erős T., Hornung E., Merkl O., Orosz A., Papp L., Ronkay L., Samu F., Soltész

Z., Szép T., Szinetár Cs., Varga A., Vas Z., Véték G., Vörös J., Zöldi V., Zsuga K. (2017). Behurcolt és invazív állatok Magyarországon. Magyar Tudomány 2017/4: 399-437.

Borics G., Kiss K.T. (2015). Módszertani útmutató a Fitoplankton élőlénycsoport VKI szerinti gyűjtéséhez és feldolgozásához. MTA Ökológiai Kutatóközpont, Tihany, kézirat, pp. 22.

Erős T., Szalóky Z., Sály P. (2015a). Módszertani útmutató a halak élőlénycsoport VKI szerinti gyűjtéséhez és a vízfolyások halak alapján történő ökológiai állapotminősítéséhez. MTA Ökológiai Kutatóközpont, Tihany, kézirat, pp. 35.

Erős T., Takács, P., Czeglédi, I., Sály, P., Specziár, A. (2015b). Taxonomic- and trait-based recolonization dynamics of a riverine fish assemblage following a large-scale human-mediated disturbance: the red mud disaster in Hungary. *Hydrobiologia* 758: 31-45.

Ficsór M. (2019). Hidrobiológiai Értékelő és Nyilvántartó Rendszer (HÉR) v1.1. Felhasználói kézikönyv. Kézirat, pp. 85.

Kiss B., Juhász P., Müller Z., Nagy L., Gáspár Á. (2006). Summary of the Ecological Survey of Surface Waters of Hungary (ECOSURV) (sampling locations, methods and investigators). *Folia Historico-naturalia Musei Matraensis* 30: 299-304.

Kovács K., Fülepp T. (2011). Invazív planária-fajok (Platyhelminthes: Tricladida) előfordulása Északnyugat-Magyarországon. *Acta Biologica Debrecina, Supplementum Oecologica Hungarica* 26: 153-160.

Kovács K., Kettinger D., Nagy P.T., Baranyai O., Boda P. (2021). A Marcal vízi makrogerinctelen faunájának változásai a vörösizsap katasztrófától napjainkig. XV. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia, Agárd, konferenciaelőadás.

Lukács B.A., Baranyainé N.A., Papp B. (2015). Módszertani útmutató a Makrofiton élőlénycsoport VKI szerinti gyűjtéséhez és feldolgozásához. MTA Ökológiai Kutatóközpont, Tihany, kézirat, pp. 32.

Móra, A., Boda, P., Csabai, Z., Deák, Cs., Málnás, K., Csépes, E. (2005). Contribution to the mayfly, aquatic and semiaquatic bug, aquatic beetle, caddisfly and chironomid fauna of the River Tisza and its main inflows

(Ephemeroptera, Heteroptera: Nepomorpha and Gerromorpha, Coleoptera: Hydradephaga and Hydrophiloidea, Trichoptera, Diptera: Chironomidae). *Folia Historico-naturalia Musei Matraensis* 29:151-164.

Sallai Z. (2013). A Marcal és a Torna halfaunájának regenerációja a 2010. évi vörösiszap-szennyeződést követően. *Pisces Hungarici* 7: 13-25.

Sály P., Erős T. (2016). Vízfolyások ökológiai állapottörvénye halakkal: minősítési indexek kidolgozása. *Pisces Hungarici* 10: 15-45.

Selmeczy G.B., Kovács K., Drávecz E., Kucserka T., Kacsala I., Padisák J. (2013). A makrozoobentosz szervezetek első éve a vörösiszap katasztrófa után a Marcal folyóban. *Hidrológiai Közlöny* 93/5-6: 71-73.

Szlávik, L. szerk. (2020). A 2010. októberi vörösiszap-katasztrófa vízminőségi kárelhárítása. ISBN 978-645-00-8868-6, pp. 112.

Takács P., Specziár A., Czeglédi I., Bíró P., Erős T. (2012). A Marcal halfaunája a vörösiszap szennyeződés után. *Hidrológiai Közlöny* 92/5-6: 75-76.

Üveges V., Andirkó V., Ács A., Bíró R., Drávecz E., Hajnal É., Havasi M., Hubai K.E., Kacsala I., Kovács K., Kovács N., Kucserka T., Lengyel E., Matulka A., Selmeczy G. B., Stenger-Kovács Cs., Szabó B., Teke G., Törő N., Vass M., Padisák J. (2011). A vörösiszap katasztrófa hatása a Torna patak és a Marcal élővilágára, a regeneráció első időszakára. *Economica* IV.: 95-139.

Várbíró G., Boda P., Csányi B., Szekeres J. (2015). Módszertani útmutató a makroszkopikus vízi gerinctelenek élőlénycsoport VKI szerinti gyűjtéséhez és feldolgozásához. MTA Ökológiai Kutatóközpont, Tihany, kézirat, pp. 34.

13/2001. (V. 9.) KöM rendelet a védett és a fokozottan védett növény- és állatfajokról, a fokozottan védett barlangok köréről, valamint az Európai Közösségben természetvédelmi szempontból jelentős növény- és állatfajok közzétételéről.

31/2004. (XII.30.) KvVM rendelet a felszíni vizek megfigyelésének és állapotértékelésének és egyes szabályairól.

VGT1 (2010). 1127/2010. (V. 21.) Korm. határozat Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási tervéről. <https://vizeink.hu/korabbi-vizgyujto-gazdalkodasi-tervek/vizgyujto-gazdalkodasi-terv/>. (Letöltés dátuma: 2022.01.16.)

VGT2 (2015). 1155/2016. (III. 31.) Korm. határozat Magyarország felülvizsgált, 2015. évi vízgyűjtő-gazdálkodási tervéről. <https://vizeink.hu/korabbi-vizgyujto-gazdalkodasi-tervek/vizgyujto-gazdalkodasi-terv-2015/>. (Letöltés dátuma: 2022.01.16.)

VGT3 (2021). Magyarország Vízgyűjtő-gazdálkodási Terve – 2021. <https://vizeink.hu/vizgyujto-gazdalkodasi-terv-2019-2021/>. (Letöltés dátuma: 2022.01.16.)

VKI (2000). Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról.

A SZERZŐK



KOVÁCS KRISZTIÁN 1998-ban a Janus Pannonius Tudományegyetem Természettudományi Karán szerzett középiskolai biológia tanári diplomát. Kezdetben gimnáziumi tanárként tevékenykedett, majd 1999-től a Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatal által működtetett regionális környezetvédelmi laboratórium-ban dolgozik. Jelenleg hidrobiológiai vizsgálatokkal, ökológiai állapotértékeléssel foglalkozik, fő munkaterületei: vízi makrogerinctelenek, algológia.

KETTINGER DÓRA diplomáját 2006-ban az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán biológus MSC szakon szerezte, evolúciobiológia, ökológia, szisztematika szakirányon. 2018 óta dolgozik a Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatal Környezetvédelmi Mérőközpontjában. Hidrobiológiai vizsgálatokban vesz részt, szakterületei a vízi makrogerinctelenek és a makrofiton. A Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztályának tagja.

LUKÁCS BALÁZS ANDRÁS általános kutatási és érdeklődési területe a botanika, növényökológia és konzervációbiológia. Kiemelt kutatási területe a felszíni vizek és vizes élőhelyek biológiai és konzervációbiológiai vizsgálata. A kutatásai során a funkcionális jelleg alapú megközelítéseket használja. PhD doktori címét 2010-ben a Debreceni Egyetem Juhász-Nagy Pál Doktori Iskolájában szerezte. Jelenleg az Ökológiai Kutatóközpont Vízi Ökológiai Intézetének tudományos főmunkatársa.

BODA PÁL a makroszkopikus vízi gerinctelenek élőlénycsoporttal foglalkozik, azon belül is a vízi- és vízfelszíni poloskák szakértője. Kiemelt kutatási területe a felszíni vizek és vizes élőhelyek hidrobiológiai és közösségökológiai vizsgálata. PhD doktori címét 2010-ben a Debreceni Egyetem Juhász-Nagy Pál Doktori Iskolájában szerezte. Jelenleg az Ökológiai Kutatóközpont Vízi Ökológiai Intézetének tudományos főmunkatársa. A Magyar Hidrológiai Társaság aktív tagja, a Limnológiai Szakosztály titkára.

BARANYAI OLGA 2005-ben az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán ökológia szakirányon biológusként végzett. PhD doktori címét 2012-ben a Pécsi Tudományegyetem Földtudományok Doktori Iskolájában szerezte. 2008-tól a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság biológusa. Vízminőség-védelemmel, vízgyűjtő-gazdálkodási tervezéssel, állapotértékeléssel foglalkozik, emellett monitoring referensként munkaterülete a határvízi és VKI monitoring is. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

Katonai elöntés a Nagy Háború idején az Yser mellett

Nagy László

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék
(E-mail: lacinagydr@gmail.com)

Kivonat

A XX. században számos eset volt, amikor árvízvédelmi gátakat, völgyzárógátakat vagy folyami keresztgátakat katonai támadás ért. Ilyen merényletek gyakori elkövetőjévé a légitámadás vált, mindazok ellenére, hogy az ilyen cselekedeteket a számos alkalommal kibővített és elfogadott Genfi konvenció tiltja. A katonai elárasztás módszerét az előző évszázadokban többször alkalmazták a mai Hollandia és Belgium területén. A Nagy Háborúban az Yser bal partjának elárasztása – mely zsilipeken keresztül tengervízzel történt – mentette meg a leharcolt belga hadsereget attól, hogy Belgium utolsó darabját is elfoglalják a németek.

Kulcsszavak

Katonai elöntés, zsilip, I. világháború, Yser, árvíz, tengervíz.

Military inundation during the Great War at Yser

Abstract

In the XX. century, there were many cases of flood dikes, dams, or barrages under military attack. Airstrikes have become a frequent perpetrator in such assassinations, despite the fact that such acts are prohibited by the Geneva Convention, which has been expanded and adopted several times. The method of military flooding has been used several times in previous centuries in the territory of the Netherlands and Belgium. In the Great War, the inundation of the left bank of the Yser, which took place with seawater through sluices, saved the tired Belgian army from having the last piece of Belgium to be occupied by the German army.

Keywords

Military inundation, sluice, World War I, Yser, flood, seawater.

BEVEZETÉS

Belgium délnyugati része fontos szerepet játszott az első világháborúban, az Yser folyónál megállt a negyedik német hadsereg előretörése, ami egy a területen kipróbált és korábban bevált módszernek köszönhető: az árvízi elárasztásnak. A flamand polderok egy sík területet jelentenek, melyek dagálykor a tenger szintje alatt helyezkednek el, ideálisak voltak egy ilyen elárasztáshoz. Elegendő volt a Nieuwpoortban található Ganzepoot zsilip-komplexum manipulálása, hogy a tengervíz beáramlását elősegítse, és a polderekből a víz elvezetését megakadályozza. Azonban a helyzet nem volt ilyen egyszerű. 1914 októberének drámai napjaiban az Yser-völgy elárasztása egyáltalán nem ment zavartalanul. A háború után azonban a korai visszaemlékezések ezt hamarosan elfelejtették és az eseményeket feldíszítették. Ez sok romantikus hazafias történetet inspirált, amelyet minden érintettnek a hiúságérzete megerősített (<https://tinyurl.com/45fywaap>).

A kérdés, hogy ki és hogyan jutott el az elárasztás gondolatához, már nem igazán releváns. Sokkal érdekesebb kérdés, hogy ezt a védelmi eszközt miért csak az Yser-csata utolsó „pillanatában”, és nem korábban használták fel.

KATONAI ELŐZMÉNYEK

Belgiumot 1914-ben, a Schlieffen-terv alapján Németország lerohanta, hogy az országon átvonulva, északról támadja meg Franciaországot, elkerülve a francia-német határra telepített erődítményeket. Belgium semlegességének megsértése ürügyet szolgáltatott az Egyesült Királyság-

nak, hogy belépjen a háborúba. A belga haderő hősiességének elismerése jelentősen lelassította a német előrenyomulást és időt adott a szövetséges (brit és francia) erősítés megérkezésének. A közel egymillió német hadsereggel szemben állt a százezer fős belga hadsereg, amit 43 ezer tartalékos egészített ki. A háború kimenetele nem is lehetett kétséges. A németek közel 100 nap alatt foglalták el Belgiumot. Azért kellett ehhez 100 nap, mert a belga hadsereg hősiességgel ellenállt a túlerőnek. Az 1914 szeptemberében végrehajtott kisebb ellentámadás után a front megmerevedett csaknem a belga-francia határon, de a belga csapatok a szövetségesek támogatásával sikerrel tartották meg az ország délnyugati csücskének függetlenségét. Csak 1918-ban szabadult fel az ország teljes területe.

„A belga haderő ellenállását I. Albert belga király irányította, nem ritkán a frontvonalról. Legidősebb fia, a későbbi III. Lipót király sorkatonaként szolgált a belga hadseregben. Albert egészen 1918-ig saját irányítása alatt tartotta a belga csapatokat, csak ekkor egyezett bele, hogy a Flandria Hadseregcsoportban összevonják brit és francia erővel.” (<https://tinyurl.com/yu6dj7p5>).

A háború úgy kezdődött, hogy 1914. augusztus 2-án a belga kormány megtagadta, hogy a német csapatok átvonuljanak Belgiumon keresztül. Augusztus 3-án éjjel a belga vezérkar utasította a harmadik hadsereget, hogy vonuljon Liège felé megállítani a várható német előrenyomulást. A német hadsereg augusztus 4-én reggel támadta meg Belgiumot. Liègenél két napig tartották magukat a többszörös német túlerővel szemben, a város körüli erődök pe-

dig csak 15-én kapituláltak. Innentől kezdve október 15-ig a belgák csak hátráltak a német csapatok előtt, feladva legnagyobb városaikat, gyakorlatilag az ország egész területét.

A francia-német fronton mindkét fél támadásokat hajtott végre, és amikor a tizedik német hadsereget október elején megállították Lille-nél, további francia csapatokat tudtak küldeni északra a belga hadsereg támogatására Victor d'Urbal tábornok parancsnoksága alatt (<https://tinyurl.com/5n8e59xu>). A franciák a belga határhoz közeli Dunkerque kikötőjét mindenképpen meg akarták védeni.

A VÍZ, MINT VÉDELEM

A katonai taktika érdekében létrehozott előntés nem volt ismeretlen az Északi-tenger partján. A 80 éves háború (1568-1648) idején többször alkalmazták a spanyolok ellen a holland tartomány területén (*Nagy elbírálás alatt*).

Az elárasztást *Belgiumban* elsősorban a kikötők védelmére használták a La Manche partján, amint az Ostend (1600-1604) vagy Franciaországban Dunkerque többszöri ostroma idején történt (*Leper 1957*). Nieuwpoort városa is a történelem során többször alkalmazta ezt a taktikát. A város körüli árvízkapuk többször megnyíltak, hogy eláraszthassák a területet a francia-spanyol háborúk során a XVII. század második felében. Az utolsó árvízi elárasztás 1813-1814-ben történt, hogy a francia csapatok megvédjék a várost (<http://tinyurl.com/2p8sm49x>).

A Nieuwpoort körüli polder területét katonai védelmi taktika részeként nem egyszer előntötte a víz, például az 1647-es, 1658-as és 1740-es ostromok során. 1740-től egészen 1745-ig szintén víz alatt volt a terület. Mindegyik előntés hasonló volt az 1914-eshez. Végül 1870-ben, a francia-poros háború idején megelőzésből elárasztották a belga és a francia határon lévő poldert. A polderek védekezési célú előntésének lehetőségét tehát a legtöbb lakos 40-50 év távlatából még ismerhette. Utoljára a Nagy Háború előtt 1879-ben került előntésre a polder, de akkor a szélsőséges időjárás következtében. Tehát a belga katonai parancsnokoknak ismerniük kellett volna az árasztást, mint eszközt, hogy megállítsák az ellenség előrehaladását az első világháború kezdetén. A brit és a francia főparancsnok szintén tisztában volt ezzel a lehetőséggel. A brit mérnökök ugyanis hozzájárultak Nieuwpoort városának megerősítéséhez, amikor az ún. Wellington-gátak készültek 1815 és 1830 között francia hadifoglyok közreműködésével. Ezt az erődítményt vízvédelmi rendszerrel látták el, amit alkalmaztak is az 1658, 1745 és 1793-as években. Vauban marsall, a híres francia katonai erődítmény építő 1694-ben részletesen kidolgozta a dunkerque-i kikötő előntési tervét. Ennek az erődítménynek az árvízkapui továbbra is működtek az első világháború kitörésekor, a nieuwoorti zsilipek azonban nem voltak jó állapotban. A város körüli erődítményeket, a Nieuwendamme polder zsilipjének kivételével 1853-tól hagyták leromlani (<https://tinyurl.com/45fywaap>).

VÍZÉPÍTÉSI BEAVATKOZÁSOK

A Westhoek (hollandul "nyugati sarkot" jelent) vagy Tenger melléki Flandria (franciául: Flandre maritime) régió Belgium és Franciaország határmenti területén található.

Ennek a régióknak tengerpart melletti része a Blootland (hollandul "kopár föld"-et jelent), a tengerparti síkság. Ott, ahol a parti dűne-sor megszakad, az árapálytól és a tengeri árvíz előntésétől veszélyeztetett területek találhatók. Ezen terület központja a francia oldalon Dunkerque, a belga oldalon Nieuwpoort és Ostende. Alacsony terepszintjük miatt a polderek természetesen sérülékenyek voltak nagyvíz idején. A közvetlen tengerparti védelem mellett a csapadékvíznek és a magasabban fekvő területekről lefolyó víznek is el kell jutnia a tengerbe. Ennek érdekében a történelem során gátak és vízelvezető csatornák zseniális rendszerét fejlesztették ki, és mechanikus szivattyúk tartották szárazon a területet (ld. például a Ganzepoot műtárgyai). Ugyanakkor a terület hajózható csatornákkal szabdalt. A hajózó csatornák magas vezetéseik, ugyanakkor a polder víztelenítése a lehető legmélyebb fenékszintet igényelt. Ezt a komplex vízrendszert adminisztratív módon az úgynevezett „Polder tanács” irányította.

A tengerpart mellett még ma is 17 poldert tartanak számunk saját vezetéssel, hogy megvédjék földjüket a tengertől és a csapadéktól. A „Noord Watering Veurne” polder, amely fontos szerepet játszik az előntési történetben a legrégibbi, munkálatai a XII. századra nyúlnak vissza. A polderben alapos munkával, minden irányú megközelítéssel, a magasságok szem előtt tartásával alakították ki a vízrendszert.



1. kép. A Ganzepoorti zsilipek és hajózsilipek Nieuwpoort mellett (<https://tinyurl.com/2p8jfpbc>)

Picture 1. The sluices and locks of the Ganzepoot at Nieuwpoort (<https://tinyurl.com/2p8jfpbc>)

Nieuwpoort körül a csatornák, zsilipek, bűjtatók és árvízkapuk „bonyolult” rendszere alakult ki az évszázadok alatt. Ennek a rendszernek kulcselemei a Ganzepoot (Libaláb) komplex zsilipjei és árvízkapui voltak, melyek lehetővé tették egyrészt a hajózást, másrészt a polderek számára azt, hogy megszabaduljanak fölösleges vízüktől. Ezen zsilipek és árvízkapuk dagálnál zárva vannak, hogy

megakadályozzák a tengervíz behatolását a polderokba. Alacsony víznél nyitva vannak, hogy az összegyűlt többlet víz a szárazföld felől a tenger felé, a tengerbe áramolhasson. A hajózsilip biztosítja a hajók forgalmát. Az 1. és 2. képen látható Ganzepoot-zsilip rendszer (nevét a különleges helyszíni kialakítása után kapta) nem csak az elrendeződése miatt különleges, hanem az első világháborúban egyedi szerepet is játszott az Yser-csata idején. A belga tengerpart kikötője – Nieuwpoort – egy hosszú csatornával kapcsolódik a tengerhez, melynek szárazföldi végében van a Ganzepoot (1. ábra, 2. kép).



2. kép. Ganzepoot (Libaláb) zsilipek ma, a tenger felől fényképezve (<https://tinyurl.com/4ucm5rs5>)

Megjegyzés: A kép bal alsó részén lévő hengeres épület Albert király emlékműve

Picture 2. Ganzepoot locks today, photographed from the sea. (<https://tinyurl.com/4ucm5rs5>)

Note: The cylindrical building at the bottom left of the picture is a monument to King Albert

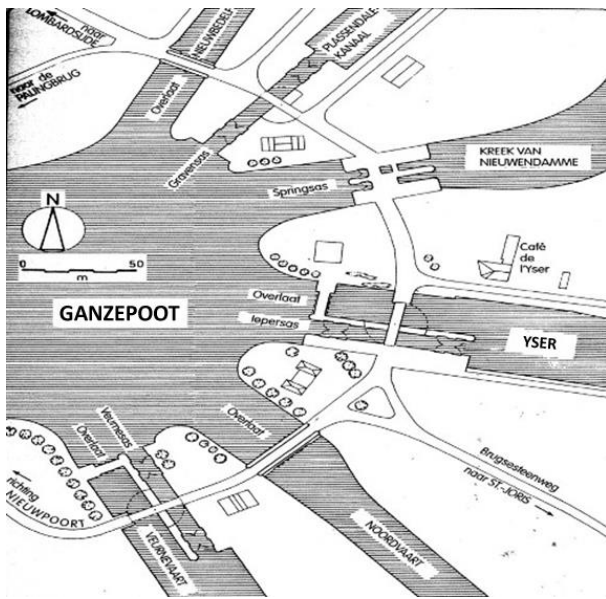
A Ganzepootban több vízrendszer találkozik (1. kép, 1. ábra). A polder lecsapoló csatornák megfelelően mélyvezetésűek. A három hajózható csatorna pedig logikusan magasabb, mint a vízelvezető, víztelenítő csatornák, de szintén különböznek egymástól. Az Yser jelentősebb mennyiségű vizet szállít, mint a Plassendale-csatorna és a Veurnevaart. Azt is meg kell állapítani, hogy a két hajózható csatorna fenékszintjének és vízszintjének is közel vízszintesnek kell lennie, ugyanakkor az Yser és a polder lecsapoló csatornák fenékszintje hasznosan kicsit lejt a Ganzepoot irányába. Ezeknek következtében a Ganzepootba befolyó csatornák műtárgyai eltérő küszöbszinttel rendelkeznek. Mivel a küszöbszintek adottak, feltételezhetjük, hogy a várható vízhozamhoz illesztették a műtárgyak vízszintes méterét (a hajózsilipeknél a hajók méretéhez is kellett igazodni).

Az Yser vízgyűjtő rendszerét 1861 és 1880 között – tehát még az első világháború előtt – teljesen megváltoztatták. A nagyszabású projekt célja a jobb vízelvezetés és a hajózás javítása volt. Ez a rendszer azonban nem volt tökéletes, mivel elsőbbséget a hajózás élvezett és nem a polderok víztelenítése. Ennek ellenére a rendszer elég rugalmas volt ahhoz, hogy bőséges csapadék esetén a hajózható vízi utak is víztelenítésre kerülhessenek. Ezek a víz

kormányzási művek kulcsszerepet játszottak a Nagy Háborúban, és elősegítették az Yser-völgy folyamatos elárasztását (<https://tinyurl.com/45fywaap>).

A Ganzepooton keresztül a tengeri kikötő hat különböző csatornával van zsilipeken és árvízkapukon keresztül összekötve. Ezek északról az óramutató járásával meg egyező irányban haladva a következők (1. ábra):

- A Nieuw Bedelfverlaat (Koldus-kijárat): egy kis-méretű víztelenítő csatorna a dűnék melletti polderokban összegyűlt víz elvezetésére.
- Gravensas (Grófkok-zsilipe), hajózsilip: a Nieuwpoort-Plassendale összeköttetést biztosít egészen Ostenden keresztül Genttel és Brugge-el vízi úton. A Scheldt vize táplálja, ennek az ún. Plassendale-csatornának (2. ábra) a szintje magasabb, mint az Yseré (<https://tinyurl.com/ynp3cwqx>, <https://tinyurl.com/5bn84ayd>).
- Springsas (Ugró-zsilip): a Nieuwendamme-patak az Yser egykori kanyargós vízútja, amely segítette a Nieuwlandpolder víztelenítését. A zsilipet 1820-1822-ben építették. Ekkor két csőből állt, amelyek mindegyike 36,50 méter hosszú és 4,30 méter széles volt. Az Yser ezen szakasza a XVII. században vált hajózhatalanná. Az 1853-1858 években mindegyik csövet ketté osztották. Az első világháború után újjáépítették. Eredetileg ez volt a vízelvezető zsilip a Nieuwendamme polderről és az Yser korábbi medréről a felújítás előtt (<https://tinyurl.com/ynp3cwqx>).
- Ypersluis (Yper-zsilip, franciául Ypersas) és egyben hajózsilip, csatlakozást jelentett az Yser csatornához medréhez. A korábbi Ypersluis-t már nem tudták a rekanalizált Yser torkolati műtárgyaként használni a hajózáshoz. A zsilip bal oldali öblítéssel öt nyílással épült. Az Yser bal partján nem volt gát, a jobb parton pedig csak Diksmuide-től lefelé volt.
- Veurne-Ambachtverlaat (Veurne-Kézműves-csatorna) zsilip a régi Veurne-csatorna zsilipe: a Noordvaart (Északi-csatorna) és a Slijkvaart (Sáros-csatorna) vízfolyások torkolata. Eredetileg ez volt a Veurnevaart torkolata, de a funkciók szétválasztása miatt új medret és torkolatot építettek. Hendrik Geeraert és Fernand Ume végül 1914. október 29-én nyitotta meg a zsilipeket, elárasztva az Yser és a Nieuwpoort-Diksmuide vasút közötti földeket, megállítva a német csapatok előrehaladását az Yser-csatornában. A zsilipkapukat kézi hajtókarral emelték meg az éjszaka csendjében.
- Veurne-sluis (Vuerne-zsilip): Nieuwpoort-Dunkerque közötti csatorna torkolatai zsilipje és hajózsilipje nyolc nyílással épült. Hozzáférést biztosít a Veurnevaarthoz (Veurne-csatornához), mely Veurnen (franciául Furnes) településen keresztül Dunkerqueig vezet. A csatorna meghosszabbítását francia földön a Veurne melletti országhatár átlépése után Canal de Furnes-nek nevezték.



1. ábra. A Ganzepoot elrendezése
(<https://tinyurl.com/5bn84ayd>)

Figure 1. Ganzepoot layout (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>)

Az Yser környéki terület tehát csatornákon keresztül összeköttetésben áll délen a Dunkerque körüli és északon az Ostende körüli csatornákkal. Ez azt jelenti, hogy bármilyen beavatkozás történik a területen, a hatás ezeken a csatornákon keresztül messzire elérhet.



3. kép A halál árka „Trench of death”, lövészárk az Yser jobb parti töltésén (<https://tinyurl.com/4ucm5rs5>)

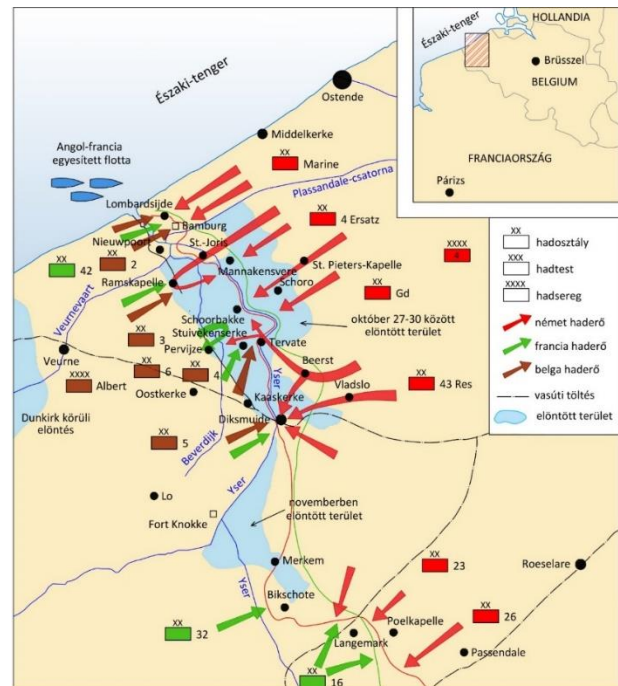
Picture 3. „Trench of death” at Yser river right bank dike
(<https://tinyurl.com/4ucm5rs5>)

A történelmi komplexitás egyik kulcsa volt a Spanyol-zsilip. Az elnevezés a németalföldi szabadságharc (1568-1648) idejében történt spanyol építésre utalhat. A Spanyol-zsilip Nieuwpoort nyugati oldalán található (3. ábra), a hozzá csatlakozó polder víztelenítő csatorna (az Arkevaart) délről megkerüli Nieuwpoortot. A múltban a Veurnaart torkolata volt itt, mielőtt azt átvezették a Ganzepootra. Az Arkevaartnak nem volt gátja és kiönthetett a polderbe, azonban a vasúti töltéstől nem messze egy bújatóval ment át a Veurnaart alatt (3. ábra). Ebből következik, hogy amikor a tenger dagálykor bejut a Spanyol-zsilipbe, elvileg valóban megtalálhatja a víz a polder felé vezető utat, azonban szemben kell haladnia azzal a minimális lejtéssel, amit a tenger felé alakítottak ki (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). A háború idején a problémát az jelentette, hogy a katonaság nem rendelkezett ismeretekkel sem a Westhoek területének hidrológiájáról, sem

a Ganzepoot műtárgyairól és azok az alkalmazottak, akik ezt ismerték, már nem voltak a helyszínen (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).

AZ YSER KÖRÜLI HARCOK

Az Yser folyó környéke, a Westhoek, természetes akadályt képzett a német előrenyomulás útjában: a közel sík terepet kisebb-nagyobb csatornák szeldelték át, az egész vidék a tengertől visszahódított terület, a dagály vízszintje alatt fekvő polder volt. A tengervíz a csatornák torkolatánál épített árvízkapuk és zsilipek rendszere tartotta vissza attól, hogy betörjön a szárazföldre. Az egész rendszer központja Nieuwpoort városa közelében volt, ahol az Yser és számos nagyobb csatorna a tengerbe vezető csatornába ömlött.



2. ábra. Hadmozdulatok 1914. október második felében az Yser csatában (<https://tinyurl.com/y6h224mh>) (A szerző szerkesztése)

Megjegyzés: A világoskék szín mutatja az elöntött területet

Figure 2. Movements in the second half of October 1919 at the Battle of Yser (<https://tinyurl.com/y6h224mh>)
(Edited by author)

Note: The light blue color shows the flooded area

A belga hadszíntéren a német katonai vezetés Calais és Dunkerque kikötőit akarta elfoglalni. Ezen kikötők elfoglalásával megszakíthatták volna a legrövidebb kapcsolatot Franciaország és Nagy-Britannia között. A kikötők megszállása után a német katonák lerohanhatták volna a francia és az angol erőket Észak-Franciaországban. A németeknek ehhez először ki kellett üzniük a belga csapatokat Belgiumból. Erich von Falkenhayn tábornok, német vezérkari főnök újraszervezte a 4. hadsereget a III. Tartalékhadtest betagozásával, amely Antwerpen elfoglalása óta a rendelkezésre állt, és még négy új tartalékos hadtestből, amelyeket augusztusban soroztak be Németországban, de a kiképzésük, a fegyverük, a felszerelésük és a vezetésük hiányos volt (<https://tinyurl.com/y6h224mh>).

Október elején a belga hadseregnek el kellett hagynia az antwerpeni erődítményt, visszavonult az Yser folyóhoz. A brit haditengerészet október 3-án vonult fel a francia

csapatok érkezésének támogatására. Október 10-16 között számos találkozóra került sor a belga király és a szövetségesek között. Heves viták után úgy döntöttek, hogy a belga katonák nem vesznek részt ellentámadásokban, de "a vég-sőkig" ki kell tartaniuk a Yser frontján, ahogyan azt a király október 15-i parancsa előírta. Október 15-én mintegy 50-60 ezer belga katona vonult ki Antwerpenből és erős állást épített ki az Északi-tenger partján lévő mintegy 20 km széles síkságot keresztező Yser folyótól északra, a tengerparti Nieuwpoort és a Diksmuide-ba telepített francia egység között. Diksmuide városát (6500 francia tengerészgyalogos („Marins Fusiliers”) védte (<https://tinyurl.com/y6h224mh>). A visszavont belga erők megerősített mélységi pozíciókat alakítottak ki az Ysertől északra. Ennek az első védelmi vonala Westende, Nieuwendamme, Sint-Pieterskapelle, Leke és Vladsloo városok vonalából állt. Az előretolt állások Lombardsijdeben, Mannenkensverre-ben, Schore-ban, Keiem-ben és Beerstben voltak. Második védelmi vonalnak az Yser jobb partjának töltése volt kijelölve. Szerencsétlen módon az Yser jobb partján, mert a bal parton nem volt töltés. A németek első feladatként 3 hídfőt akartak kialakítani Nieuwpoort, Schoorbakke és Diksmuide városoknál.

1914. október 15-én a német hadsereg is elérte az Yser környezetét, és már másnap megtámadta Diksmuide (2. ábra) városát, de az Alphonse Jacques ezredes irányítása alatt álló francia erők megvédték a várost, ám súlyos veszteségeket szenvedtek. Ezen a napon a németek arra törekedtek, hogy kiűzzék a tüzérség nélküli francia tengerészgyalogosokat Diksmuide-ból (2. ábra); ám a belgáknak volt tüzérségük, így megmutathatták a fegyvereik tűz-hatékonyágát, amellyel a franciákat támogatták (<https://tinyurl.com/ycktp2mv>).

Október 17-én a német tábori tüzérség lőtte a kiépített belga védelmi vonalat a front teljes hosszán Diksmuide és a tenger között. Ezek a tüzérségi támadások voltak az október 18-tól 30-ig tartó csaták előzményei (<https://tinyurl.com/3zxtfdtm>).

A német 4. hadsereg, Albert württembergi herceg irányítása alatt október 18-án, heves tüzérségi tüzzel kezdte meg támadását a belga állások ellen. A német erők Nieuwpoorttól a franciaországi La Bassée-ig tartó vonalon támadtak, Schore, Keiem és Mannekensvere külső részét elfoglalták. A Brit Királyi Haditengerészet hajói időszakosan sikeresen akadályozták, hogy a németek elfoglalják Lombardsijde-t. A part mentén állomásozó brit hadihajók ágyútüzének támogatásával a belgák visszaverték az első támadást. Miután a németek sikertelenül próbálták megtorpedózni a hadihajókat, azok a tengerparton visszavonultak Ostende magasságába (<https://tinyurl.com/y6h224mh>). A belga hadsereg ellentámadásának eredménye, hogy Keiem-t visszafoglalták ugyanazon az éjszakán (<https://tinyurl.com/3zxtfdtm>).

Október 19-én a harc intenzitása az egész fronton megduplázódott, támadások és ellentámadások váltogatták egymást. A 4. Ersatz (tartalék)-hadosztály gyalogosai másodszer is megpróbálták bevenni Lombardsijde-t, miközben a német tüzérség Nieuwpoortot lőtte

(<https://tinyurl.com/ycktp2mv>). A Lombardsijde körüli dűnék stratégiai jelentőséggel bírtak, mivel a dűnékben elhelyezett tüzérség az egész frontot hosszában tűz alatt tarthatta. Este a császári csapatok újra elfoglalták Keiem városát. Időközben a belga hadsereg parancsnoka úgy döntött, hogy a Nieuwendamme poldert a Springsas-on keresztül el kell árasztani, hogy enyhítse a német nyomást a Sint-Joris és a környező területekre (2. ábra). Úgy gondolta, hogy ez megakadályozza a németek oldalsó tüzét, amikor azok elérik a csatornázott Yser partját. Ezt az elképzelést Thys mérnök kapitány terjesztette elő, aki később vezető szerepet kapott az árvíz fenntartásában a háború hátralévő részében (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). A következő napon a németek elfoglalták Lombardsijde-t. A belga csapatok visszavonultak, de még mindig az Yser jobb partján voltak, vagyis a három napos harc után a németek még mindig nem érték el az Yser-t (2. ábra).

Október 21-én a német tüzérség általános tüzet nyitott. A tenger felől a brit flotta lőtte a német haderőt. Diksmuide-t ismét támadták a németek, de nem tudták elfoglalni a várost (<https://tinyurl.com/3zxtfdtm>). A belga hadsereg helyzete drámai volt a kimerültség miatt és várták az ígért francia 42. gyalogos hadosztály megérkezését. Az új erőkkel mindenki megdöbbenésére elsősorban a támadásra gondoltak, ahelyett, hogy a vasútvonal védelmének megerősítésében segítettek volna. A Ganzepoot még mindig a belgák kezében volt (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).

AZ ELSŐ ELÁRASZTÁS

1914-ben a zsilipek főfelügyelője Gerard Dingens volt, akinek legfontosabb feladatát a zsilipeken keresztül a szárazföldi polderek vízgazdálkodásának szabályozása jelentette.

Dingens a különféle források szerint kötelességtudó, de autoriter ember volt. Pozíciójából fogva vezető szerepet játszhatott volna az elárasztás történetében, de ez nem így alakult. 1914. október 19-én vagy 20-án valószínűleg a háború nyomása miatt az ott dolgozók elhagyták a zsilipek komplexumát, a Ganzepootot ágyúzták a németek. Sőt, ami még rosszabb, távozásuk után a katonai kormány nem tudta, hová mentek a dolgozók. Ezért nem támaszkodhat a hidrológiai rendszer mélyreható ismereteire, miután eldöntötték az elárasztást (Lesage 2015). Mindazonáltal hasznos Dingens személyével foglalkozni. Nem szabad elfelejteni, hogy pozíciója miatt Dingens felelős volt a közel 30 000 hektáros polderterület vízszintjéért, és így közvetve a régió lakosságának megélhetéséért is. Például az is a feladata volt, hogy a polderek vízszintjét nyáron 2,20 méteren, télen 1,90 méter magasságban tartsa. Érdemes megjegyezni, hogy az 1914. évi kaotikus októberi napokban a polderek vízszintje még mindig a nyári szinten volt, azaz 2,20 méteren. Természetesen ez pozitív tény, tekintettel az azt követő elárasztásra (Lesage 2015).

A brit tiszték már október 10-én kapcsolatba léptek Gerard Dingens-el a Nieuwpoorti zsilip-komplexum felügyelőjével. Megkérték őt, hogy Nieuwpoort védelme érdekében árrazza el a Plassendale-csatorna és a parti dűnék közötti területet. A zsilip üzemeltetője azonban jobban ag-

gódott az áradás emberi és gazdasági hatásai miatt, és rámutatott egy ilyen művelet csekély hatékonyságára. Amikor október 13-án Prudent Nuyten kapitány felkérte, hogy dolgozzon ki elárasztási tervet, Dingens úr szemmel láthatóan vonakodott. Elméletileg még mindig meglehetősen könnyű lett volna elárasztani a Yser mindkét partját, ami megakadályozta volna, vagy legalábbis lerövidítette volna az Yser véres csatáját. Egy sós vizes elárasztás évekig használhatatlanná tenné ezeket a termékeny mezőgazdasági területeket, így sok család jelentős kárt szenvedne. Dingens visszaemlékezése szerint a brutális és rosszul elgondolt belga katonák nem mutattak semmiféle tiszteletet sem munkájának, sem az infrastruktúrájának vagy az eszközöknek (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).



4. kép. Hendrik Geeraert a népi hős, a civil ellenállás megszemélyesítője (<https://tinyurl.com/yy2pz4pm>)
Picture 4. Hendrik Geeraert is the folk hero, the personification of civil resistance (<https://tinyurl.com/yy2pz4pm>)

A belga terület elárasztása létfontosságú volt Franciaország számára Dunkerque, Gravelines és Calais, vagyis a La Manche kikötőinek védelme szempontjából. Még, ha a francia területen az árasztások meg is védték a francia kikötőket a közvetlen katonai támadástól, Dunkerque továbbra is a német tüzérség hatókörén belül maradt, ami fokozatos megsemmisüléséhez vezethetett volna. A belga terület elárasztása további puffert hozott volna létre a francia kikötők védelmére (<https://tinyurl.com/45fywaap>). Nieuwpoort már nem volt ilyen szerencsés helyzetben (6. kép).

Október 17-én ugyan a belga csapatok átvették a zsilipek feletti katonai irányítást, de két nap múlva megszakadt a kapcsolat a zsilip üzemeltetőivel, akik valószínűleg elmenekültek ahelyett, hogy tartották volna a kapcsolatot a katonai parancsnokokkal (<https://tinyurl.com/45fywaap>). Szerencsére Hendrik Geeraert (1863-1925) folyami hajós a helyszínen maradt, és tanácsokkal segítette a belga csapatokat. Gyakorlati hozzáállása és megfigyelőképessége tette őt a zsilipek működtetőinek tökéletes helyettesítőjévé.

Mivel a belga tábormonoknak nem voltak tapasztalatai a különféle csatornák és zsilipek kezelésével kapcsolatban, segítséget kértek zsilipek kezelőitől. A belga Dossin tábornok rájött, hogy nem tudja megvédeni a frontot a németek számbeli fölénye miatt, ezért megparancsolta, hogy a Nieuwendamme (Új győzelem gát) polderjét áraszassák el az Yser jobb partján. Ez azért volt lehetséges, mert a víz speciális módon vezethető be a terület víztelenítő rendszerén keresztül. A francia stratégia által kidolgozott elgondolás

A hajózsilipek rajzain (1. ábra) két pár kaput lehet látni, ami jellemző a tengeri zárakra, ahol a dagály vízszintje magasabb, mint a háterszág, ott a kapu bezáródik. A kapuk nem záródnak be 180° szögben, hanem kisebb szöget képeznek, és a víznyomás egymásnak feszíti azokat. Ez a szög a tenger felé mutat, vagyis a dagály automatikusan zárja a kapukat. Ezzel szemben azok a kapuk, amelyek szárazföldön vannak, teljesen sikkra záródnak. Apálykor a belső, magasabb vízszint nyitva tartja a kaput. Mindez azt jelenti, hogy a kapuk nincsenek rögzítve a keretükben (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).

Érdekesség, hogy ezen automata kapuk mozgásával megegyező a Mezőtúri-árvízkapu működése, csak ez utóbbi több, mint száz évvel később készült.



5. kép. Karel Cogge, aki hathatósan segítette az elárasztási elképzelés kidolgozását (<https://tinyurl.com/3s4ykyhx>)
Picture 5. Karel Cogge, who effectively helped develop the idea of the inundation (<https://tinyurl.com/3s4ykyhx>)

alapján a belga katonák október 21–22-én éjjel végezték el az első korlátozott árasztást a Nieuwendamme polderben Nieuwpoorttól közvetlenül keletre (3. ábra). Ezt az árasztást műszaki szempontból nem volt nehéz elérni, mivel a Nieuwendamme-csatorna zsilipjét kellett felhasználni.

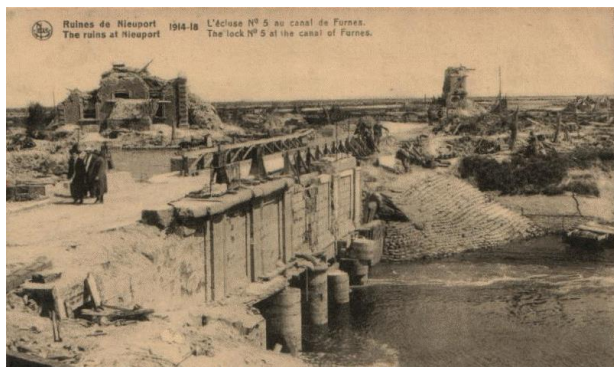
Hendrik Geeraert (4. kép) felvilágosította a katonákat a zsilip kezeléséről. Azt is tudta, hogy hol tárolják a záróelemeket, valamint a nyitására és bezárására szolgáló különféle eszközöket. Az éjszaka folyamán Geeraert és néhány katona kinyitotta a Springsas-t. Ennek eredményeként 3 km hosszú földterület elárasztódott az Yser jobb partja és a Plassendale-csatorna között. A későbbiekben ez az elárasztás segítette, hogy a németek meg se akarják közelíteni Ganzepoot-ot (Thys 1922).

Egy kisebb kiterjedésű területet került elárasztásra tengervízzel. Ez megakadályozta, hogy a németek északról bekerítsék Nieuwpoortot. Az elöntött terület különösen a zsilipkomplexumot védte (<https://tinyurl.com/45fywaap>) és valószínűleg nagyban hozzájárult a második elöntés sikeréhez is.

Eközben Hendrik Geeraert már ismert személyiséggé vált a Ganzepoot és környékén levő katonák körében. Jól ismerte a zsiliprendszerrel a "vízkormányzási problémát", és egyértelműen élvezte a jelenlévő tisztek és katonák bizalmát. Nuyten kapitány bemutatta a feletteseinek. Geeraert számára ez volt a „nagy pillanat”, mivel a belga hadsereg tanult tisztjei kikérték a tanácsait. Amikor az elárasztási terveket elmagyarázták neki, az első reakciója az

volt, hogy az urak nem tudják, hogy van egy bújtható az Yser alatt, ami a Nieuwendamme polderjét összekapcsolja az Ysertől délre fekvő polderrel, és amely lehetővé tenné azt, hogy a víz elszökhesse a Nieuwendamme polderből. Geeraert hatalmas csodálkozására egyetlen jelenlévő sem tudott a bújthatóról. Ettől a pillanattól kezdve Geeraert segített kidolgozni az elárasztás tervét és a tisztek megértették, hogy Geeraert nélkülözhetetlen számukra (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).

A Nieuwendamme polder háromszöget képez a Plassendale-csatorna és az Yser között, amelyek a Ganzepootba konvergálnak (1. ábra). Ahol a régi Yser meder szintje érinti a csatornázott Ysert, található a bújtható, amiről Geeraert beszélt. Mellette látható Nieuwendamme temploma, mely még ma is létezik. A polder elárasztása sikeres volt, és ezt minden bizonnyal nevezhetjük a néhány nappal később bekövetkező "nagy" elárasztás bevezetőjének. Azonban ekkor még a katonai parancsnokságnak nem volt ismerete a védekező előntés technikáról. Ne felejtjük el, hogy augusztus végén és szeptemberben sokkal szélesebb körű elárasztásokat hajtottak végre Antwerpenből délre és délkeletre, ahol Robert Thys kapitány vezető szerepet játszott (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).



6. kép. Ganzepoot és Nieuwpoort romjai a német tüzérség kitartó munkájának eredményeként (<https://tinyurl.com/2p8fna99>)
Picture 6. The ruins of Ganzepoot and Nieuwpoort as a result of the persistent work of the German artillery (<https://tinyurl.com/2p8fna99>)

A CSATA FOLYTATÓDIK

Október 22-én II. Vilmos császár Roeselare-ba érkezett felügyelni a hadi eseményeket és talán megünnepelni Belgium meghódítását. Lombardsijde-t a belga erők visszahódították. Négy napig tartó nehéz harcba és folyamatos ágyúzásba került, mire a német csapatok elérhették a Yser partját (3. kép). Tervate közelében a német katonák átkeltek a folyón és a bal parton létrehoztak egy hídőállást, de a franciák 42. hadosztálya a folyóba szorította őket (<https://tinyurl.com/y6h224mh>, <https://tinyurl.com/ycktp2mv>). Ezáltal a második belga védelmi vonal is fenyegetve volt, mert a német csapatok átkelésre készültek. A második védelmi vonal új helyét a Nieuwpoort – Diksmuide emelt vasút dél-nyugati oldalán jelölték ki. A francia főparancsnok védelmi intézkedésként a Dunkerque környéki rész elárasztását tervezte, az utánpótlást jelentő kikötő nem kerülhetett német kézre. Így azonban a belga hadsereg csapdába esett volna az előntött terület és a németek közé szorulva, vagy pedig kiürítik

Belgium utolsó kis részét. A terv végrehajtását addig elhalasztották, amíg a belga hadsereg megkezdte az Yser bal parti terület elárasztásának az előkészítését (<https://tinyurl.com/3zxtfdtm>). A belgák helyzete napról napra észrevehetően romlott 1914. október 22-e után. Kora reggel a németeknek sikerült bejutni az Yser kanyarjába Tervate felett. A belgák ezt nem tudták megakadályozni, így a következő napokban fokozatosan elvesztették az Yser vonalat, és visszavonultak a Grote Beverdijkvaart (Nagy Hódgát-csatorna) mögé. A franciák, akik még mindig támadásokra gondoltak, nem értették a helyzet súlyosságát. Albert király megfogalmazta félelmét az általános katasztrófától, és Foch tábornokot aggasztotta, hogy a Dunkerque körüli elárasztások miatt a belgák harapógóba kerülnek (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).

Október 23-án a belga csapatok bal oldalára megérkezett az első francia erősítés. A németek által 23-án a meghódított területet, amely az Yser kanyarjában fekszik, Schoorbakke és Tervate között, a szövetségesek hevesen bombázták és visszafoglalták. Itt egy jegyzetfüzetet találtak egy német holttestnél, aki a 22. egység tartalékos tisztje volt és feljegyezte:

„a félelmetes erkölcsi és fizikai szenvedés, amelyeket a golyók, a tűz és a vér poklában szenvedünk el; a katonai egységeknek a felére csökkent az erejük, az egységek összekeveredtek, a tisztek szinte mindegyike meghalt, éhség és szomjúság, valamint annak érzése vár ránk, hogy minden erőfeszítés haszontalan volt a kicsi, de félelmetes belga hadsereggel szemben.”
(<https://tinyurl.com/y6h224mh>).

Ez volt a német oldalon egy tiszt mérlege. Az október 23. éjszaka a Diksmuide elleni támadást újra visszaszorították a francia tengerészgyalogosok és néhány belga egység. Ez volt a hatodik alkalom, amikor a német hadsereg egy héten belül megtámadta Diksmuide-t, és ezen ismételt támadások mindegyikénél félelmetes közelharc alakult ki (<https://tinyurl.com/3zxtfdtm>). Október 23-án a nap végére a belgák visszavonultak a folyóparttól, és másnap a németeknek már 5 km széles hídője volt (<https://tinyurl.com/5n8e59xu>). Ekkor úgy tűnt, hogy a német csapatok kibontakoznak. Friss egységek érkeztek a frontvonalra, hogy a megürült létszámot feltöltsék. A belga hadsereg méterről méterre védte az Yser bal partja és a vasút között fekvő területet a Nieuwpoort és Diksmuide közötti hosszú frontvonalon, ahol ismét új védelmi vonalat szerveztek (<https://tinyurl.com/3zxtfdtm>).

Október 24-én a német hadsereg 4 gyaloghídat és 3 tüzérségi hidat telepített az Yser-en. Diksmuide-ban a német katonák éjszaka ismét támadtak. Géppuskával vágták le őket, így a németek ismét nem tudták elfoglalni Diksmuide-t. Jacques tábornok, Diksmuide védelmezője rendkívüli bátorságról tett tanúságot: többszöri sebesülését közevően sem volt hajlandó visszavonulni. Október 24-én a francia 42. hadosztály egységei végül megérkeztek Pervijze-be is, hogy segítsék a belgákat. Paul François Grossetti francia tábornok tájékozódva a harci helyzetről megállapította, hogy a vasút mögött történő visszavonulásnak számos előnye van (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).

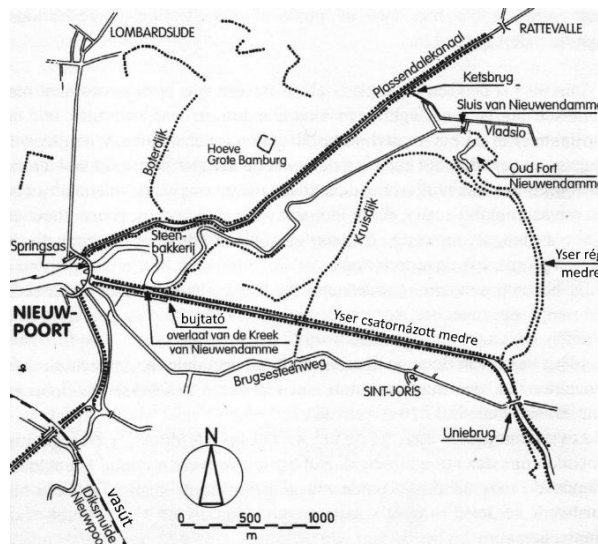
Úgy tűnik, hogy magáról az elárasztásról, mint a védekező taktika eleméről volt elméleti ismerete a belga tiszteknek, azonban volt egy másik oka annak, hogy az elárasztás nem történt meg (<https://tinyurl.com/45fywaap>). Parancsnoki megbeszélésen Belgium királya és Grossetti francia tábornok (a 42. hadosztály parancsnoka) közvetlenül egyeztetett Ferdinand Foch tábornokkal, aki 1914 szeptembere óta az északi hadseregcsoport parancsnoka volt.

1911-ig a 63 éves Foch tábornok tudós és tanár volt, az École Supérieure de Guerre-ban (francia katonai akadémián), ahol az ún. „teljes erővel” elnevezésű katonai doktrínát dolgozta ki. Ez a doktrína jellemezte a háború első hónapjaiban az ő harctéri hozzáállását. Elképzelése szerint az ellentámadás lehetőségét mindig nyitva kell hagyni a visszavonuló hadseregnél. Ez az elképzelés akadályozta meg eleinte az Yser-völgy teljes elárasztását. Csak azután, hogy október 21–23-án a francia 42. hadosztály sikertelen ellentámadást hajtott végre az Yser-fronton, Foch tábornok rájött, hogy a védekező stratégia az egyetlen módja a német előrehaladás megállításának. Csak ekkor vette figyelembe a belga elárasztási lehetőségeket (<https://tinyurl.com/45fywaap>), de ekkorra már Belgium gyakorlatilag megszállás alá került.

A németek olyan nagy nyomást gyakoroltak a belgákra, hogy a belga védelmi vonal áttört (<https://tinyurl.com/ycktp2mv>). Albert király, a belga ellenállás gyengülését és a csapatai által elszenvedett veszteségeket látva, a német áttörés miatt elrendelte a zsilipek kinyitását Nieuwpoortnál. A nap folyamán a belgák megkezdték a visszavonulást a Nieuwpoort – Diksmuide terepszintből kiemelt vasút délnyugati részére (3. ábra). A vasúti töltés csak 1–2 m-rel volt a terepszint felett, de ez is elégségesnek bizonyult (<https://tinyurl.com/5n8e59xu>). Ezt a töltést kellett megvédeni, ahol a belga katonáknak jó fedezéke volt, míg a németeknek sík terepen kellett mozogniuk fedezék nélkül.

Október 26-ig a belga hadsereg helyzete annyira leromlott az ismétlődő német támadások miatt, hogy egy új védelmi vonal kialakítását vették fontolóra. Albert király elutasította ugyan a belga területről történő kivonulást (<https://tinyurl.com/5n8e59xu>), de egy nappal később a belga erők teljes maradéka mégis visszavonult a vasút mögé, mert az előtér már úton volt. Az új második védelmi vonalat Ramskapelle és Pervijze vonalában jelölték ki.

A németek október 27-től november 2-ig csökkentették a nyomást, mert meg akarták erősíteni pozíciójukat az Yser bal partján. Tüzérségük még mindig lőtte Nieuwpoortot, Ramskapellet, Pervijzet és Diksmuideot, de sokkal alacsonyabb tűzsebességgel. E rövid szünet alatt a sebesülteket evakuálták, az egységeket újrászervezték és új lövészárkokat ástak, miközben a régi árkok javításra kerültek. Élelmet és lőszert szállítottak a frontra. Október 28-án azonban a víz emelkedni kezdett a csatornában, de ez még nem volt észrevehető (<https://tinyurl.com/ycktp2mv>).



3. ábra. A Nieuwpoort polder (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>)
Figure 3. The polder of Nieuwpoort (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>)

A HARCTÉR (MÁSODIK) ELÁRASZTÁSA

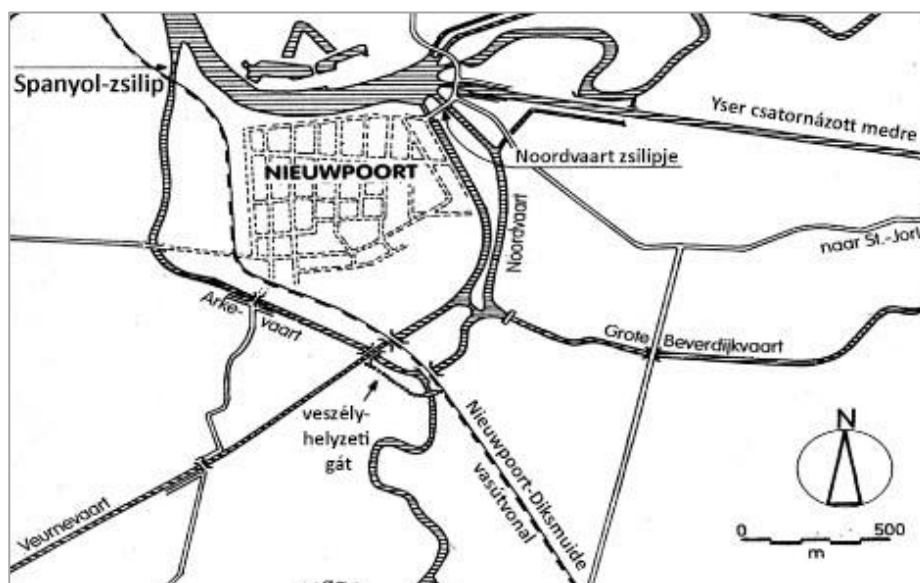
Ahogy a későbbi megemlékezések megállapították, gyűlt az információ az Yser bal partjának elárasztásáról: október 15-én, tehát még az első elárasztás előtt a Germain Van Marcke-ben, a helyi iskolaigazgatónál beszállásolt tisztek megtudták a házigazdáiktól, hogy a területet a múltban védelmi célokra már elárasztották és 18-án még Emile Dossin tábornok is kikérdezte az igazgatót, sőt a további részletekért a tiszteket a zsilipekhez küldte tanulmányozni azokat. Pieter Ghewy van de Blauwhoeve polder gazda Ramskapelle és Pervijze között tájékoztatott néhány idősebb tisztet arról, hogy a múltban a településüket már elárasztotta a víz. Emeric Feys helyi gazda dokumentumai azt mutatták, hogy feleségének nagypája 1798-ban kártérítést kapott a polder tengervízzel történő elárasztásának kompenzálásáért (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).

Időközben a franciák sem tétlenkedtek, október 24-én megkezdték a Dunkerque körüli terület elárasztását, és Nuyten kapitányt arra utasították, hogy vizsgálja meg a Belgium felé jövő csatornák lezárásának lehetőségét, hogy elkerüljék a szövetségesek oldalán a vízkatasztrófát, vagyis, hogy Dunkerque elárasztása a csatornákon keresztül hogyan változtatja meg a vízviszonyokat a belga oldalon. Október 25-én Nuyten keresett valakit, aki a Veurne környékének vízrendszerét ismerte, így találkozott Veurne polgármesterével, Despot úrral. Ő hozta össze Nuyten kapitányt és Karel Cogge-t (*Lesage 2015*).

Karel Cogge (5. kép) és Nuyten kapitány a Veurne városházán, október 24-én 14 órakor kezdték tanulmányozni Cogge által szerkesztett térképét a Noordwatering (Északi-öntözés) területéről. Nuyten érdeklődött a Dunkerque körüli terület francia elárasztásának Veurne környezetére gyakorolt következményeiről, vagyis, hogy a flamand polderekre áterjed-e a francia terület elárasztása. Nuyten rájött, hogy a vasúti töltés, mint új védelmi vonal különösen érzékennyé válik, amikor a németek közelebb hozzák a tüzérséget (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). Ezért egy olyan zóna kellene, mely kellően távol tartja a tüzérséget, a gyalogságnak pedig kellően nagy akadályt jelent. A vasúti töltés közel, s távol a legjobb fedezéket nyújtotta.

Nuyten, bár nem volt mérnök, tudta, hogy az előntést lehetőleg édesvízzel kell végezni a mezőgazdasági kár korlátozása érdekében (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). Cogge helyzetértékelése azonban csalódást okozott Nuytennek. Dunkerque francia elárasztása miatt a Veurne-i vízfolyások közötti vízszintkülönbség túl kicsi, ráadásul a flamand csatorna enyhe lejtése miatt a Veurne környéke árasztódik el először. Nuyten szóba hozta a Ganzepoot felhasználását az édesvízi elárasztásra és megkérdezte Cogge-t, hogy tudják-e a zsilipeket használni? Cogge kijelentette, hogy a megfelelő megoldás a Noordvaart zsilipje (4. ábra). Meg kell jegyezni, hogy ekkor már az október 21–22-én éjjel elkezdett első árasztás a Nieuwendamme polderben Nieuwpoorttól közvetlenül keletre mutatta hatását, és részben meg is akadályozta, hogy a németek megközelítsék a Ganzepoot-ot. Hogyan lehetne elönteni az Yser és a vasúti töltés közötti területet? Cogge pontosan megmutatta a térképen, hogyan jut a víz a célterületre. Am Nuyten úgy gondolta, hogy ez a

lehetőség kivitelezhetetlen, mert a Ganzepoot abban az időben már az ellenség közeli megfigyelési területén volt. Ekkor Cogge alternatívaként javasolta a Spanyol-zsilipet, amelyet nem használtak már több mint 35 éve. A Spanyol-zsilipen bejutó víz elindul az Arkevaart-csatornán és eléri a Veurnaart-csatornát, ami alatt a vasúti töltéstől nem messze egy bújatóval megy keresztül. Az elképzelés jó volt, de már az első elárasztásnál megállapították, hogy az Arkevaarton keresztül behozható vízmennyiség várhatóan jóval kevesebb, mint a Noordvaartnál (4. ábra). A víz a hosszú úton és a bújatón nagy nyomásvesztést szenvedett, lassan áramlott és nem lehetett tudni a meder akkori benőttségét, ami szintén akadályozta a vízáramlást. Cogge ezt is világossá tette (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). További vízhozam csökkentő tényező volt az Arkevaart – mint víztelepítő csatorna – enyhe ellenesése. Amikor elhatározták, hogy mégis a Spanyol-zsilipen keresztül történik az elárasztás, akkor felgyorsultak az események.



4. ábra. A tengervíz útja a Spanyol-zsiliptől az Yser csatorna és a vasúti töltés közötti területre (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>)
Figure 4. The seawater route from the Spanish sluice to the area between the Yser canal and the railway embankment (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>)

Cogge szerint előbb azonban néhány fontos gyakorlati problémát kellett megoldani. Először is, összesen 23 átjáró (áteresz, út, stb.) volt a vasúti pálya alatt, amelyeket be kellett zárni, hogy megakadályozzák a víz dél-nyugatra vezető útját. Ezt a feladatot nem szabad alábecsülni, mert néhány átjáró, például a Grote Beverdijkvaart (4. ábra), tíz méter széles és két méter mély volt. Másodszer, egy veszélyhelyzeti gátra volt szükség a Veurnaart gát és a vasúti töltés között, hogy az Arkevaartból a vizet ne kelet felé irányítsák a vasúti töltéstől déli területre, hanem északra (4. ábra). A veszélyhelyzeti gát egy 175 méter hosszú és két méter magas homokzsák gát építését jelentette (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). Még ugyanezen a napon, október 25-én, Cogge elmagyarázhatta javaslatát Wilemans tábornoknak, a vezérkari főnök helyettesének és Maglinse őrnagynak, a művelési parancsnoknak is. A vezérkar ezután engedélyt adott az Yserdijk (Yser töltés) és a vasúti töltés közötti polder elárasztására. Később Cogge-t elvették, hogy bemutassa javaslatát Dossin tábornoknak, a 2. hadtest vezetőjének is, és végül eljutott arra

a helyre, ahol a veszélyhelyzeti gátat meg kellett építeni. A tisztikar semmit nem tudott a Westhoek különböző csatornáiról és a víznek a tenger felé történő elvezetéséről. Részint az antwerpeni előntési tapasztalatok, részint a Nieuwpoort környéki tapasztalatok alapján a vezérkar úgy döntött, hogy létrehoznak egy ún. „Elöntési Szolgálatot”, amelyet Jamotte kapitány és Robert Thys tartalékos kapitány, mint helyettes vezetett. Ez a műszaki egység megkapta a szükséges utasításokat a vasúti töltés alatti átjárók bezárásához és a veszélyhelyzeti gát felépítéséhez (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). Ezeket délután a belga katonák elkezdték megépíteni.

Az első elárasztás után néhány nappal nyilvánvalóvá vált a teljes elárasztás szükségessége. A német támadás megállíthatatlannak bizonyult. Két német zászlóalj már október 24-én az Yser bal partján volt. Október 25-e vasárnap pedig döntő nap volt. Ami a belga hadseregből maradt, reggel visszavonult a Nieuwpoort és Diksmuide közötti vasúti töltés mögé (<https://tinyurl.com/45fywaap>).

Október 25-én tehát elkészült az elárasztás terve és Albert király kiadta az utasítást az elárasztásra. Az idő elfogyott: a francia főparancsnokság már elindította saját elárasztási tervét, amely szerint Dunkerque-zsilipjein keresztül elárasztják a Colme folyó és a Les Moères területét. A gyakorlatban ez azt jelentette, hogy a belga haderőnek csak néhány folyosón lehetett volna visszavonulnia, és csapdába eshettek volna egy német áttörés esetén (*Leper 1957*). A zsilipnyitás műveletének a gyakorlati végrehajtása azonban problémásnak bizonyult.

Október 26-án Jamotte, Cogge és egy harmadik tiszt megvizsgálta a vasútnál a munka előrehaladását. Több helyen a harcban elesett ellenséges katonák holttesteit torlaszolták el az utat. A kimerült katonák néhány száz méterre álltak az ellenségtől jéghideg vízben, bizonyos helyeken derékig, hogy lezárják a vasúti pálya alatti átjárókat az általuk található anyagokkal. Amikor a felderítésből visszatértek Veurne-be az összes előkészület befejeződött, Jamotte bemutatta Karel Cogge-t Robert Thysnek a 2. mérnök zászlóalj kapitányának, mert együtt kellett nyitniuk a Spanyol-zsilipet. A franciák főhadiszállása úgy döntött, hogy felfüggesztik az elárasztást Dunkerque környékén, miközben a belgák elkezdtek az első próbát a Spanyol-zsilipen keresztül (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). Thys kapitány, Cogge és néhány utász október 26-án este a Spanyol-zsiliphez (mely nem volt hajózható, csak vízvezetésre lehetett használni) ment, hogy apálykor bezárja és dagálykor kinyissa a zsilip elzárószerkezetét. Miután megérkeztek azt láncokkal és lakattal bezárva találták. A zsilip egy speciális konstrukció volt, amelyet először alaposabban megvizsgáltak. Csakúgy, mint a Ganzepootnál lévő zsilipek, két pár nyílása volt, melyek szabadon mozoghattak a kamrában, hasonlóan egy lengő ajtóhoz. A vízszintek magasságától függően a poldervíz visszajuthat a tengerbe. Ez egy olyan rendszer, melyet a polder vízteleltetésére terveztek, nem pedig elárasztására. Így az automatikus zsilip nyitás-zárással ellentétes működést kellett biztosítani. A dagály megérkezése előtt a semleges vízállásnál (amikor a zsilip mindkét oldalán körülbelül ugyanaz a vízállás) ki kellett nyitniuk az árvízkapukat, és rögzíteni kellett azokat. Amikor az apály megkezdődött, ugyancsak egy semleges vízállásnál be kellett zárni és rögzíteni kellett azokat, hogy a polderbe bejutott víz ki ne juthasson a tenger irányába (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).

Időközben a harctéren katasztrófális helyzet alakult ki. Pervijze és Ramskapelle között a német csapatok áttörték a vasúti töltés védvonalát, anélkül, hogy a belgák vasút mögött átszervezhették volna a visszavonulókat (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).

Mivel aznap este nem volt biztos, hogy a németek elfoglalták-e a kikötő túloldalát, Thys, Cogge és csapatuk teljes sötétségben és a lehető legnagyobb csendben dolgozott. Kis erőfeszítéssel képesek voltak megglazítani az árvízkapuk ajtajait, de egy csavart rúd miatt nem lehetett teljesen bezárni. Rögzítésük anyaghiány miatt szintén nem volt lehetséges. A zsilipben sem találtak megfelelő eszközöket, valószínűleg mindet elhordták az előző napokban. Következésképpen nem volt más választásuk, mint a kapukat az aljzatában kézzel és a lehető legnehezebben is, de

megtartani. A dagály elindulásakor a nyitott zsilipen keresztül a tengervíz a csatornába áramlott. Úgy tűnt, hogy az elárasztás megkezdődött. Valójában csak kritikus helyzet alakult ki, amikor az emelkedő dagály egyre nagyobb nyomást gyakorolt a nyitva tartott árvízkapukra. Az utászok nem tudták tartani, el kellett engedni, így az árvízkapuk újra bezáródtak.

Október 27-én este Thys, Cogge és néhány utász visszatért a Spanyol-zsiliphez a szükséges eszközökkel. Ezúttal tökéletesen be tudták forgatni a kapukat a foglalataikba, és szorosan ebben a helyzetben tudták tartani a kötelekkel. Közvetlenül hat óra után az emelkedő dagály elkezdett befolyjni az Arkevaart csatornába. Éjjel körül Thys visszatért Veurne-be, az aznapi munkát sikeresen elvégezték (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).

A Spanyol-zsilip keresztmetszete azonban szemlátó mást túl kicsi volt, és rajta keresztül nem lehetett elegendő vizet átjuttatni. Cogge azt mondta, hogy három napra is szükség lesz, amíg elegendő víz áramlik át a Spanyol-zsilipen az egész terület elárasztásához. Az árasztásra ekkor már azért volt szükség, mert a belga hadsereg összeomlott a németek folyamatos erős nyomásának hatására (<https://tinyurl.com/45fywaap>). Az elárasztás mértéke korlátozottnak bizonyult, mert a Veurne-Nieuwpoort-csatorna alatti bújató hosszú volt, és így akadályt jelentett, ráadásul az időszak legalacsonyabb dagályát észlelték (*5. ábra*). Szerencsére azonban az idő esős volt, így az ellenség is ázott, és mivel a Ganzepooti Yser-zsilipek zárva maradtak, így az esővíz is folyamatosan emelte a vízszintet a polderban.

Amikor a dagály az Arkevaarton keresztül 28-án megkezdődött, egyértelművé vált, hogy ez a módszer nem fogja elérni a kívánt célt, vagy csak túlságosan lassan. Például a Nieuwpoorttól öt kilométerre fekvő Venepvaart szintje változatlan maradt. Ennek oka az volt, hogy a Spanyol-zsilip csak 5,60 méter széles volt, ami elégtelennek bizonyult az elárasztott polder méretéhez képest. Az erről a szakasról szóló szakirodalom a bűvár, aki az Arkevaart és a Veurnevaart keresztezését megvizsgálta, azt tapasztalta, hogy a bújató tele volt mindenféle szeméttel, amely részben elzárta a bújató négy csövét. Van Pul (2014) a háború idején keletkezett levelezést átolvasva azt állapította meg, hogy nem csak erről volt szó. A csatornának az Oostvaart-zsilip melletti részén a hely enyhe emelkedése is lassította a víz áramlását. (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).

Hendrik Geeraert nagyon izgatott volt az események lassú lefolyása miatt. Miután részese volt a Nieuwendamme polder részleges elárasztásának Nieuwpoortban maradt. Átlátta, hogy mi történik és hogy mire lenne szükség. Rájött, hogy a nyolc, két méter széles tolóajtó kinyitása a Noordvaart-on sokkal hatékonyabb lesz. Beszélt a Nieuwpoort zászlóalj kapitányával, aki Geeraert javaslatát azonnal megértette és továbbította (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). Felmerült egy további probléma. Azok a francia csapatok, amelyek a belgákat Nieuwpoortnál támogatták, néhány nappal korábban elhagyták a Ganzepoot-ot, úgyhogy az már a senki földje lett. A megfigyelők a nap folyamán nem láttak németeket

a záruk körül, de senki sem tudta, mi fog történni éjjel. Fontos pillanat, mert ha a németek megértették volna, az elárasztási folyamatot, akkor minden bizonyonnyal elfoglalják a Ganzepoot-ot, és a poldert egyszerűen ismét leüríthették volna a Noordvaart-zsilipen keresztül (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). A vizet, melyet a belgák dagálykor tereltek a polderbe az Arkevaarton keresztül, a németek elvezethették volna apálykor a Noordvaart-zsilipén keresztül (4. ábra). Ezért a hadsereg vezetése továbbra is tétovázott. Időközben Thys kapitány nehezen tudta összehangolni az összes terepmunkát (ugyanis az Yser mellett további elárasztásokra készültek), és a hadsereg parancsnoka Fernand Umé kapitányt jelölte ki a Ganzepoot munkák vezetésére. A helyzet tovább romlott október 29-én, a németek áttörtek, még több egységet szállítottak az Yser bal partjára, hogy támogassák gyalogságukat, ami jelentős nyomást gyakorolt Ramskapelle és Pervijze irányába. Ramskapelle magasságában néhány pocsolya már látható volt a polderben, de Pervijze magasságában még minden száraznak bizonyult (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>).

Tekintettel a fronton kialakult bizonytalan helyzetre a veurne-i belga főhadiszállás végül 16 órakor parancsot adott a Noordvaart-zsilip megnyitására a Noordvaarton keresztül történő előntésre, tekintet nélkül arra, hogy a németek felfedezik-e őket. Amikor fél hétre sötét lett, Umé kapitány és Hendrik Geeraert negyven katona kíséretében, akik szintén jelen voltak a Spanyol-zsilipnél a Noordvaart nyomvonalán haladtak, hogy elkerüljék a német csapatokat. Geeraert gond nélkül megtalálta a zsilipemelő eszközöket. A munkát húsz perc alatt elvégezték úgy, hogy nem vette őket észre az ellenség. A tengervíz tömegesen áramlott a polderbe a 16 méter széles nyíláson keresztül. Éjfél körül zárni kellett az összes zsilipet (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). Ezt a munkát az ellenség látókörében végezték, akik figyelemre méltóan passzívok maradtak és nyilvánvalóan nem tudtak semmit a várható következményekről. A kapukat az apály közeledtére bezárták. Az idő fogyott: a német csapatok időközben elérték Ramskapelle-t és Pervijze-t, azaz a vasúti töltés által kialakított ellenállás fő vonalán túl kerültek (<https://tinyurl.com/45fywaap>).

Október 30-án reggel a légi felvételek a Ramskapelle közelében már egy hatalmas tavat mutattak. Délben a víz tovaterjedt a polderben Pervijze irányában, és Otto Schwink német kapitány visszaemlékezéséből kiderült, hogy csak ekkor kezdték felismerni, hogy legveszélyesebb ellenségük a víz lett. Október 30-án este Umé, Geeraert és egy gyalogsági csoport újra megismételték a Noordvaart-on keresztül a műveletet, saját meglepetésükre anélkül, hogy a németek felfedezték volna őket. A zsilip nyitásával folyamatosan emelték a vízszintet az Yser bal partján, amíg a kb. 2-4 km széles sáv nagy részében, csaknem egészen Diksmuide-ig a területet néhány kicsit magasabb terepszint kivételével elárasztotta a víz (<https://tinyurl.com/ycktp2mv>).

REMÉNYTELJES NÉMET TÁMADÁS, AZ YSER-CSATA VÉGE

Október 29-én a németek új támadást indítottak. A gyalogság megpróbálta elfoglalni a Booltshoeke és Pervijze közötti területet (2. ábra). A belga katonák megállították a támadást, és a németek visszavonultak. A nagymértékben túlerőben lévő németekkel szemben (helyenként majdnem hatszoros túlerő) a belgáknak csodára volt szükségük, hogy ellenálljanak. I. Albert király és tábornokai úgy döntöttek, hogy mindent kockára kell tenniük. A víz tovább emelkedett a csatornában, de még ez sem volt elég az ellenség megállításához.

A német császár Tielben várt, a Belgium feletti győzelemi jelenésre. Október 30-án a német tüzérség támogatása mellett a gyalogság újra megtámadta az egész vasútvonalat. A belga második védelmi vonalat a vasúton túl hátratólták Pervijze és Ramskappelle falvak vonalába (2. ábra). A belga és francia katonák az algériai katonák támogatásával ellentámadtak Ramskappelle-ben. A német katonák megpróbálták visszanyomni az ellentámadást, de a francia és a belga csapatok, valamint a brit haditengerészet nagy tüze megállította őket, a szövetségesek visszaszerezték Ramskapelle-t (<https://tinyurl.com/3zxfdtm>, <https://tinyurl.com/5n8e59xu>). A délután folyamán észlelték, hogy a víz elvághatja a támadó német csapatok visszavonulásának útját, vagyis csapdába kerülhetnek a víz és a szövetséges csapatok között. Egyetlen lehetőség a visszavonulás volt. A németek ekkor szembesültek először az emelkedő vízszinttel.

Este 8 órakor a zsilipek ismét kinyíltak, folytatódott a polder elárasztása, a vasút és az Yser közötti terület egyre jobban elborította a víz. A német felső vezetés úgy gondolta, hogy a víz a következő órákban majd eltűnik, mert jön az apály, de az tovább emelkedett. A hideg víz megnehezítette a mozgást, a vasút és az Yser közötti német lövészárkok elárasztódtak. A németek elhagyták a lövészárkaikat és visszavonultak az Yser mögé. A német császár pedig elhagyta a harcteret anélkül, hogy a nagyszerű hírt, vagyis Belgium elfoglalását be tudta volna jelenteni a világnak (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). Az előntés miatt az Yser-csata október 31-én leállt, a harc Ypres környékén folytatódott, ahol csak gáztámadás miatt tízezer brit, francia és német katona vesztette életét. Ferdinand Foch marsall később emlékirataiban azt írta: „Franciaországot egy másfél méter magas töltés mentette meg” (Horne 1923).

Az Umé kapitány és emberei által végrehajtott második elárasztás után a víz a mezőkön már délkeletre húzódott Stuivekenskerke falujáig (Leper 1957). November 1-én Umé és Geeraert utoljára fordították el a kapukat. Ezt követően a belgák elfoglalták a Ganzepoot-ot, és a zsiliprendszer a szövetségesek hídfője maradt a háború hátralévő részében (<https://tinyurl.com/5bn84ayd>). Az emelkedő víz elől november 2-4. között a németeknek teljesen vissza kellett vonulniuk az Yser jobb partjára (<https://tinyurl.com/ycktp2mv>). A francia csapatok támogatták a leharcolt belga hadsereget, akiket súlyos veszteségek értek, mivel sokáig vártak az árasztással (<https://tinyurl.com/45fywaap>). Ezzel a belga hadsereg

számára az Yser-csata véget ért: megkezdődött az állóháború. November 10-én Diksmuide elesett, de a harcok tovább folytatódtak egészen november 22-ig.

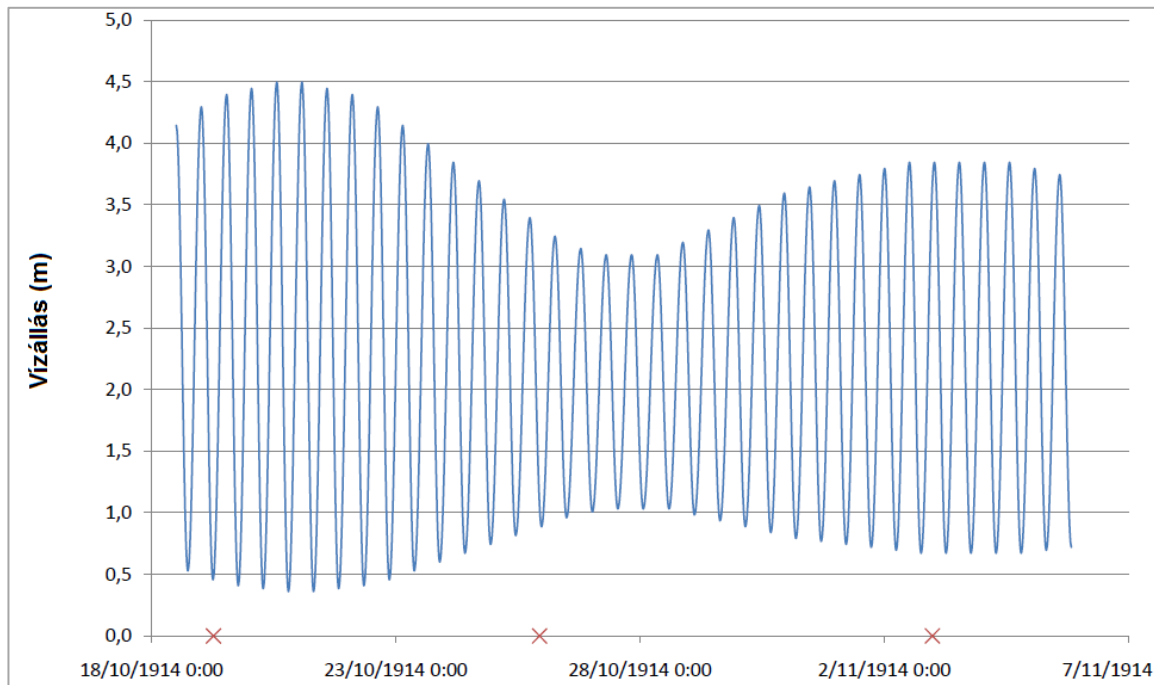
AZ ELÖNTÉS HIDRAULIKAI VIZSGÁLATA

Van Pul (2014), az "1914. október. A tenger által megmenett királyság" című könyv szerzője szerint a Westhoek parti síkságai és polderei az Yser és a francia határ között legfeljebb három méterrel vannak a tengerszint felett. Egyes területek, például a Moeren, még annak is alatta vannak. Az árvíz 4,65 métert, a tavaszi dagály pedig 5,50 métert is elérhet, így egyértelmű, hogy az egész polder napi kétszer is elöntödné a védő dűnesor nélkül.

A víztelenítés e komplex rendszerének adminisztrációját az úgynevezett "Wateringen or Polders" irányítja. Ezek olyan földtulajdonosok társulásai, amelyek védik területüket a tenger és az esővíz kiöntése ellen, és amelyek közül Nyugat-Flandriában még mindig 17 működik. Az elárasz-

tás történetében fontos szerepet játszó "Noord Water Veurne" polder a legrégebbi, még a XII. századból származik. Ezen polder egyharmadának a vízszintjét a Nieuwpoort-i Ganzepooton keresztül szabályozzák (Lesage 2015).

Alacsony tengerszint feletti magasságuk miatt a polderek dagályra természetesen érzékenyek voltak. Például 1879-ben, amikor a polderek utoljára árasztódtak el a szélsőséges időjárás miatt. Ezen kívül a Nieuwpoort körüli polder területét többször elárasztották katonai védelmi taktika céljából, például az 1647-es, 1658-as és 1740-es ostromok során. Az 1914-es évhez hasonló támadások 1740-től 1745-ig tartottak. Végül 1870-ben, a francia-porosz háború alatt megelőzőleg a Moerent árasztották el. Ezért azt lehet mondani, hogy 1914-ben a régió lakosságának nagy része ismerte a polderek védekező elárasztásának lehetőségét (Lesage 2015).



5. ábra. A hidraulikai modellnél alkalmazott Északi-tenger vízállás 1914. október 18 - november 5. között (van der Wee 2014)
Figure 5. North Sea water level used in the hydraulic model 18. October - 5. November 1914 (van der Wee 2014)

A 1914. évi elárasztásokat, és különösen a második elárasztást numerikusan van der Wee (2014) vizsgálta. A számítási modell bemenő adatai a vízszintek és vízállások (5. ábra), zsilip és csatorna méretek, küszöbök, polder terepszintek, zsilip nyitási és zárási időpontok voltak. A vizsgálat fontosabb megállapításai a következők voltak:

- A tengervízszint vízmagassága és a zsilip nyitvatartás ideje az árasztás szempontjából október 28-án volt a legkedvezőtlenebb időpont (5. ábra). Ennek ellenére sikeresnek volt mondható.
- A Springsas megnyitása (az első árasztás) még magas dagálynál történt, a polder elöntött részén átlagosan mindösszesen 20 cm-es vízmélység alakult ki.
- Az elárasztás hatására a Spanyol-zsilipen keresztül messziről érkezik a víz, kicsi a zsilip keresztmetszete, alacsony a vízhozam (1. táblázat). Így egy dagálykor

mintegy 100-150 ezer köbméter víz folyhatott be.

- A Noordvaarten keresztül az elárasztás hatása jelentős. A Noordvaarten-zsilipein első alkalommal, amikor azt október 29-én elfordították, 1 568 000 m³ víz folyhatott a polderbe. Össességében az említett számítási modellek szerint október 29. és november 3. között 6 265 519 m³ víz került a polderbe négy dagály alatt, ami egyrészt a közvetlen befolyásnak, másrészt a nagy keresztmetszetnek tulajdonítható.
- Az Oostvaarten zsilip nyitása lehetséges alternatíva volt egy egyenletesebb feltöltéshez, 11 dagály alatt több, mint 5 millió köbméter tengervíz folyhatott volna be a polderbe (1. táblázat).

A számítás bizonytalansága a korabeli adatok hiányából adódik, úgymint terepszintek, csatorna fenékszintje, a vízfolyások keresztmetszete és érdessége.

1. táblázat. Az előntési modellezés végeredménye (van der Wee 2014)
Table 1. Result of inundation modelling (van der Wee 2014)

Elárasztási művelet zsilipen	Zsilip méret (m)	Ár-apály időpont 1914	Teljes térfogat (m ³)	Maximum befolyás (m ³ /s)
Springsas	2*2,05	10/21- 22 (2 dagály)	632 027	44
Spanyol-zsilip	5,6	10/28-29 (4 dagály)	456 555	11,7
Noordvaart	8*2	10/29-11/02 (4 dagály)	6 265 519	193,6
Oostvaart	3,32	10/28-11/03 (11 dagály)	5 399 406	33,2

Az elárasztással foglalkozó irodalomban többször a 700 000 m³-es érték található, mint a vízmennyiség, amely dagályonként bejuthatott a polderbe (néha 24 órára hivatkozva). Nem tudni honnan származik ez a szám, de talán René Deguent-től, aki 1914-ben mintegy 700 000 m³-t írt az 1926-ban megjelent „*Les inondations du front Belge*” (Árasztások a belga fronton) című könyvében. Nem ismeretes, hogy ez milyen számításon alapult abban az időben, de ez mintegy a tizede a számított eredménynek (van der Wee 2014). A számítások is alátámasztották, hogy a művelet sikere inkább a németek helyismeretének hiányából, valamint a víz és a zsilipek fontosságának fel nem ismeréséből származott.

UTÓTÖRTÉNET

1914. november 10-én a németek elfoglalták Diskmuide-t. Két nappal később havazni kezdett. A katonák árkokat ástak, ahol elbújhattak a hideg és az ellenséges tűz elől. A frontvonal kialakult, és a háború következő három évében nem sokat változott. A 100 napos támadás befejezéséig a front az Ysernél megállt. Az elárasztás biztonság érzését keltette a katonáknak. Ez az érzés azonban helytelen volt. 1916. január 15-én éjjel a belga katonák hirtelen három német katonát találtak a lövészárkukban. A belgák gyorsan legyőzték az ellenséges katonákat és kihallgatták őket. A németek vászonból, kátrányos gumiból készült, speciálisan kialakított ruhákat használtak. Ezek a ruhák védték meg őket a hideg és a víz ellen. A bebörtönzött katonák bevallották, hogy más német katonákat is kiképeztek arra, hogy a hideg vízben úszva foglalják el a belga lövészárkot. A következő két évben azonban nem volt több hivatlan látogató. Meglepő, hogy a németek nem próbálták megállítani az elárasztást. Valószínű, hogy eleinte úgy gondolták, hogy a megemelkedett vízszintet az eső okozta, és ha az eső eláll, a vízszint csökkenni fog. Régi belga térképeket használhattak. Ezek a magasságok azt jelezték, hogy a polderek tengerszint feletti magasságban vannak.

Az egész háború alatt a belga erőknek javítaniuk kellett a zsilipeket és fenn kellett tartaniuk az elárasztást. Thys kapitány létrehozta a „Sapeurs-Pontoniers” egységet. Javították és karbantartották a Ganzepootot. A társaság 3 szakaszból és 3 egység bűvárból állt. A front ezen szakaszán a háború végéig 27 katonát veszítettek, 50 katona megsebesült és 143 katonát sújtott gáztámadás. Ugyanakkor a németek ösztöztetése a Ganzepootra irányult, egész Nieuwpoort romokban állt (6. kép), mintegy büntetésként az elárasztott földért. Ettől kezdve 1918 őszeig I. Albert király az egész háború alatt a fronton maradt, nem volt hajlandó részt venni a szövetséges ellentámadásokban, amelyeket haszontalannak tartott. Ennek eredményeként a belga hadsereg halálozási aránya az egyik legalacsonyabb maradt. A király továbbra is

úgy gondolta, hogy a szövetségeseket csak garancia vállalónak tekinti a független Belgium érdekében (<https://tinyurl.com/ycktp2mv>). Ebben az óriási küzdelemben a belga hadsereg, melynek létszáma mintegy 50 000 fő volt, elvesztette csapatainak harmadát, és hatékonyságát; de több németet ölt meg és sebesítettek meg, mint amennyi katona volt a belga hadseregben; lefedték a szövetségesek bal szárnyát, és meghiusították a német erőfeszítéseket, amelyek Dunkerque-et és Calais-t fenyegették. A belga hadsereg hosszú és hősies ellenállása lehetővé tette a franciáknak, hogy szilárd frontot építsenek dél felé a francia határon, és ezáltal akadályt képezzenek. Megtörték a német támadást, de egy új, emlékezetes nagy csata alakult ki a szomszédban Ypresnél (Horne 1923).

„*Ez nem egy friss hadsereg volt, amely szembeállt a németekkel Ysernél.*” – állapította meg Repington ezredes, katonai tudósító 1914. december 9-én. „*Ez egy hadsereg maradványa volt, melyet a háború megviselt és létszámában meggyengült. Két és fél hónapig Belgium összes csapatját elvesztette, meghátrált Liege-ben, Namurban, Louvainban, Haelenben, Aerschotban, Aalinesban, Termonde-ban és Antwerpenben. Szinte egyedül állt szemben a németekkel, és a meggyötört, de még mindig nem legyőzött maradványai álltak az Yser mögött. Ebben a folyamatos védekezésben a belga csapatok és parancsnokok irányt mutattak a szövetség ügyének.*” (Horne 1923).

A németeknek számos olyan harcászati előnye volt, amivel a belgákra kényszerítették elgondolásaikat a háborúban, úgymint a számszerű fölény, a támadás lendülete, a csodálatos vasúti hálózat, mely összekötötte őket a háttérrel, és melyet megjavítani rengeteg idejük volt. Meg kell említeni az ellátási szolgáltatásaikat és a sebesültek ellátására rendelkezésére álló kiváló, nagy kapacitással rendelkező kórházakat, amelyeket kis távolságra telepítettek egymástól az általuk elfoglalt területen (Horne 1923). A kimerült belga csapatok csekély támogatással rendelkeztek; nemcsak, hogy nem számíthattak az azonnali erősítésre, hanem ellátási szolgáltatóiknak sem volt idejük a sietős visszavonulást követően újra telepíteni és átrendezni önmagukat és végül, a szerencsétlenség csészéjének túlcsoportulását jelentette, hogy csak távolabbi, az országhatáron túli kórházakra támaszkodhattak a sebesültek ellátásában (Horne 1923). Amikor a németek november 10-én elfoglalták a Diskmuide hídját az Yser-csata után, Umé kapitánynak új előntést sikerült létrehoznia a város keleti részén, az Yser-völgyben Flandzame mellett (2. ábra). Az elárasztáshoz az Yser édesvizét használták. A folyamat során Noordschote, Reninge és Elzendamme mocsarait is elárasztották. A cél a vízszint megemelése volt olyan magasra, amennyire csak lehetséges, hogy megnövelje az

Yser jobb partjának árvizét (*Leper 1957*). Ezután november 16-ig a Thys kapitány irányítása alatt álló egység elárastotta a Boterdijk körzetét a Bamburghoeve farmig (*Thys 1922*).

A francia tengerészgyalogosok Pelle des Forges százados vezetésével ugyanazon a héten fedezték fel a Lombardsijde polder elárastási lehetőségét a híddal szemben. Ez is stabilizálta a frontvonalat. Így Nieuwpoort mindkét oldalát víz vette körül. Bár ennek súlyos ára volt: 3 500 belga halott és 12 000 sebesült. Ha az áradást korábban alkalmazták volna, ezen veszteség nagyrészt elkerülhető lett volna (<https://tinyurl.com/45fywaap>). Az elárastás két fontos problémát jelentett a következő négy évben: egyrészt az elárastást továbbra is fenn kellett tartani, másrészt a vasúti töltés mögötti terület vízelvezetését meg kellett javítani (<https://tinyurl.com/45fywaap>). A zsiliprendszer német tűz alatt volt, és a szövetségesek attól tartottak, hogy a németek megpróbálják semlegesíteni az Yser jobb parti elárastását az Ostende felé vezető csatornákkal. Az árvizek ellenőrzéséért elsősorban a katonai mérnökök voltak felelősek (<https://tinyurl.com/45fywaap>). Így már az Yser csata alatt megszervezték az ún. Elöntési Szolgálatot Maglinse őrnagy és Nuyten kapitány vezetésével. Ez Jamotte kapitány parancsnoksága alatt állt, aki először Thys kapitányt és később Umé kapitányt bízta meg a végrehajtással. Az Elöntési Szolgálat a háború sikeres egysége, a „pontonos utászok” név alatt, Robert Thys kapitány irányításával 1915. szeptember 2-án alakult. Ezek az emberek négy évig fenntartották az elárastást, tekintet nélkül a nehézségekre, amelyekkel szembesültek. A társaság legfeljebb 300 emberből állt (*Thys 1922*). 1915 nyarán a németek elkezdték lőni a Ganzepoot mütárgyait. A Veurnezsilip erőteljesen megsérült, így 1916 januárjában a Veurnevaart-csatorna teljesen leürült, de így is négy évig sikerült ellenállniuk a német tüzérség által okozott pusztításnak (*Thys 1922*).

ÖSSZEFOGLALÁS

Az Yser csata eseményeire visszatekintve azt a következtetést kell levonni, hogy belga szempontból a teljes kudarc elkerüléséhez az árvízi elöntés valóban az utolsó pillanatban érkezett. A németek csak nagyon későn jöttek rá, hogy a poldereket tengervízzel árasztják el. Végül is a sok kis vízfolyás vízszintje magas volt, és sokat esett az eső is azokban a napokban. Nyilvánvalóan a polderek elárastását nem vették észre, amire a katonai hadvezetésnek nehéz kifogást találnia. A német hadsereg térképein a nulla pont körülbelül 2,40 méterrel magasabb volt, mint a belga térképeken (<https://tinyurl.com/45fywaap>). Ez azért volt lehetséges, mert a német térképek az amszterdami magas vízszintet vették alapul, a belgák pedig az alacsonyabb vízszintet Ostendében. Ezért egy a németek által használt térképen minden szint 2 méterrel magasabbnak tűnt. Támadásuk alatt a németek a belga térképet szerezték meg, de nyilvánvalóan nem ismerték az eltérő viszonyítási magasságot.

A német katonai vezetés nyilvánvalóan nem is értette meg, hogy a helyzet kulcsát a Ganzepootban találják. A zsiliprendszert elhagyták, amelyet valószínűleg elfoglaltak egy időre. Nem szabad azonban alábecsülnünk a francia-brit flotta szerepét, amely a lehető legközelebb navigált a

tengerparthoz az Északi-tengeren, és fegyvereivel annyi kárt okozott a németeknek, hogy a támadásuk súlypontját valószínűleg a szárazföld felé mozdította el. A Ganzepoot tökéletesen elérhető volt a flotta ágyú számára, és ez nem tette volna lehetővé a zsiliprendszer állandó német felügyeletét. Biztos, hogy felderítők megvizsgálták annak a lehetőségét, hogy a Ganzepoot környezete alkalmas-e egy támadás, egy átkarolás indítására, azonban valószínű, hogy a hét egymásba érő vízfolyás bonyolult helyzete elriasztotta őket ettől a tervtől. Ugyanakkor felmerül a kérdés, hogy hol volt a német hadiflotta, és hogy a partról miért nem lőtték a szövetséges hadihajókat, hiszen a szárazföldi ágyúk hatósugara mindig nagyobb volt, mint a hadihajóké.

Végül azt a következtetést kell levonni, hogy a német tiszti állomány valószínűleg nem ismerte jól a polderek katonai elárastásának adatait és lehetőségeit. A német légi felderítők vagy azok, akik értelmezték észleléseiket, szintén hibát követtek el. Jól láthatták a levegőből a Ganzepoot zsilipjeit, melyek azok, amelyek árvízkapukkal vannak ellátva, és hol vannak a hajózsilipek. Az elárastásnál az árvízkapuknak csak akkor van szerepük, ha magas víznél a vízszint a hátsó területre fölé emelkedhet. Végül is a belga hadsereget a német hadsereg nagyon megverte akkor is, ha ez töménytelen német áldozatot követelt. Belgium területének kevesebb, mint 5%-a – az ország nyugati csücske – maradt ki a német megszállásból. A folyamatosan hátráló belga hadseregnek valóban katonai sikert jelentett a katonai célú elárastás, az ebben résztvevőket pedig hőssé lehelte magasztalni a háború után.

IRODALOM

- Demerre, G., Termote J.* (2014). The flooding of the Yser plain, <https://tinyurl.com/45fywaap> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.).
- Demerre, G., Termote J.* (2014). Die Überflutung der Yserebene, <https://core.ac.uk/download/pdf/45439271.pdf> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.).
- Horne, C.F. ed.* (1923). Source Records of the Great War, Vol. II, National Alumni.
- Leper, J.* (1957). Kunstmatige inundaties in maritiem Vlaanderen 1316-1945, Tongeren: Drukkerij George Michiels.
- Lesage, E.* (2015). Inundatie aan de IJzer, oktober 1914, Artikel overgenomen uit de Gidsenkroniek Ieper-Poperinge-Westland, Jaargang 2015-3.
- Nagy L.* (Elbírálás alatt). Erőszakos gátszakítások Hollandiában, Hidrológiai Közöny.
- Thys, R.* (1922). Nieuwpoort 1914-1918. Les inondations de l'Yser et la Compagnie des Sapeurs-Pontoniers du Genie Belge, Liège. (2014). (heruitgave van 1922), Nieuwpoort 1914 – 1918, Brussel: Editions De Schorre.
- van der Wee, X.* (2014). Hydraulische studie naar de onderwaterzetting van de ijzervlakte tijdens WOI, colloquium KHID, 02/10/2014, Promotor: P. Willems, Dagelijkse begeleiding: N. Van Steenberghe. Katholieke Universiteit Leuven.

van Pul, P. (2014). Oktober 1914, Het koninkrijk gered door de zee, Erpe: uitgeverij De Krijger. 371 p. Dépôt légal D/2004/6004/15, ISBN 90-5868-135-1.

INTERNET LETÖLTÉSEK

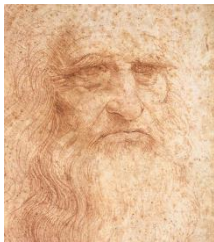
<https://tinyurl.com/y6h224mh> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.)
<https://tinyurl.com/ycktp2mv> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.)
<https://tinyurl.com/ynp3cwqx> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.)
<https://tinyurl.com/2p8fna99> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.)
<https://tinyurl.com/2p8sm49x> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.)

<https://tinyurl.com/3zxtfdtm> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.)
<https://tinyurl.com/4ucm5rs5> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.)
<https://tinyurl.com/5n8e59xu> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.)
<https://tinyurl.com/5bn84ayd> (Letöltés dátuma: 2022. 03.31.)
<https://tinyurl.com/45fywaap> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.)
<https://tinyurl.com/yy2pz4pm> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.)
<https://tinyurl.com/3s4ykyhx> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.)
<https://tinyurl.com/yu6dj7p5> (Letöltés dátuma: 2022. 04.13.)

A SZERZŐ



NAGY LÁSZLÓ 1956-ban született Nyíregyházán, iskoláit Debrecenben végezte. Első diplomáját 1980-ban szerezte a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karán. Ugyanott 1984-ben szakmérnöki államvizsgát tett. Munkahelyei a vízügyi szakterülethez kapcsolódtak: Vízügyi Tervező Vállalat, Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ, Árvízvédelmi és Belvízvédelmi Központi Szervezet, Országos Vízügyi Főigazgatóság. 2003 óta a Műegyetemen oktat, kutat. 2006-ban megvédte PhD disszertációját, kilenc évvel később habilitált. 2015-ben a geotechnika és az árvízvédelem határterületén végzett munkásságáért a Magyar Köztársaság Érdemrend Lovagkereszt kitüntetését kapta. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja. 2016 májusától a Hidrológiai Közlöny egyik szakszerkesztője.



Ember és víz

- Fejezetek a vízgazdálkodás történetéből -

Leonardo da Vinci és a vízhozammérés

A zseniális művész és tudós, *Leonardo da Vinci* (1452-1519) munkássága hatalmas lökést adott a hidrológia és a vízepítés fejlődéséhez, de - közvetve - részben előidézője is volt annak, hogy ezek fejlődése elmaradt a lehetőségektől. Az történt ugyanis, hogy a hidrológia és a vízepítés tárgykörében 37 éven át, egészen haláláig vezetett feljegyzésekből egyetlen sort sem publikált. Értékes feljegyzései és rajzai mintegy 7 ezer oldalt tettek ki. Leonardo gondolatait igen röviden és tömören fejezte ki és a híres tükörrírásával vetette papírra. Valamennyi kéziratát halála után fiatal barátja *Francesco Melci* örökölte, aki kiválogatta közülük a művészetekre vonatkozókat, a többi pedig figyelmen kívül hagyta. Ezeket - 20 kéziratcsomagot - különböző könyvtárak és magánszemélyek vásárolták meg, értékükre azonban még akkor sem figyeltek fel. Végül néhány feljegyzés 250 év múlva *Giovanni Batista Venturi* (1746-1822), a híres hidraulikus kezébe kerültek, aki 1797-ben publikált "*Leonardo da Vinci fizikai és matematikai munkássága*" című munkájában bebizonyította, hogy Leonardo kiemelkedő tudós volt, korát messze megelőző tudományos gondolatokkal. Érdekes az a körülmény, hogy Leonardo tudományos hagyatékának legnagyobb része a hidrológia és a hidraulika tárgykörébe tartozott.

Sz. L.

Életutak



Rendhagyó életút interjú Somlyódy László akadémikussal.

Beszélgetőtárs dr. Major Veronika, a Hidrológiai Közlöny főszerkesztője.

Az elmúlt hónapok szerda délutánjain együtt kávézgatva beszélgettünk a hivatalos életút bemutatásáról Somlyódy László akadémikussal, aki évtizedek óta megtisztel barátságával. Ám el-elkalandoztunk néhány izgalmas történet felé, melyek teljessé teszik a képet és amelyeket szeretnék megosztani az olvasókkal.

A HIVATALOS BEMUTATÁS

Somlyódy László a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszékének Széchenyi-díjas professzor emeritusa, az MTA rendes, valamint több külföldi akadémia tagja. Érdeklődése főként a felszíni vizek mennyiségi és minőségi kérdéseihez kapcsolódik, úgymint a szennyvizek elkeveredése; az áramlás és az anyagtranszport numerikus modellezése; sekély tavak és a Balaton eutrofizálódása; a Balaton vízpótlása; mikroszennyezők és azok monitoringja a Sajó folyón; költségghatékony szennyvíztisztítás. Foglalkozott felszíni vizekkel közép-európai országokban, Kanadában, Brazíliában, Szingapúrban és Kínában. Eredményeiről mintegy 40 országban jelentek meg cikkei. 10 könyvet, 36 könyvfejezetet, több száz tudományos cikket, 150 körüli kutatási jelentést és 300 tudományos előadást jegyez.

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

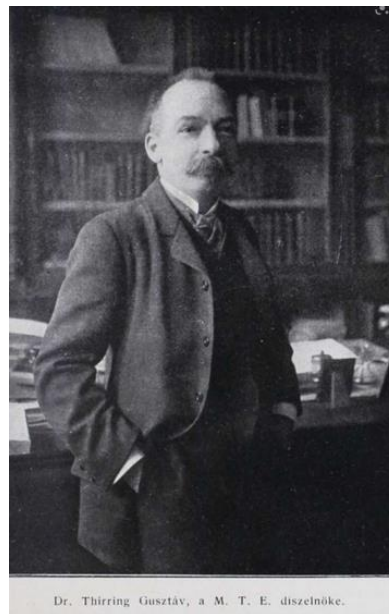
AZ INDÍTTATÁSRÓL

A XX. század viharos történelme átszötte a Somlyódy család életét. Az 1899-ben dzsentri családba született édesapját, mint joghallgatót telepítették ki Felvidékről édesanyjával és a személyzet 10 tagjával együtt az 1920-as évek elején.

Hogyan alakult a szülők élete a XX. század konfliktusteli éveiben?

Édesapám szívos akarattal kerekedett felül az élet kihívásain. A kitelepítés után először Budapesten, majd Bécsben bonbon üzletet tartott fenn saját készítésű csokoládéval, majd a Tisza mentén fafeldolgozó üzemet létesített, ezt követően az 1930-as években pedig ingatlan forgalmazással foglalkozott. Lajosmizsén nagy sikerrel szőlőművelést folytatott. 1948-ban ítélet és indoklás nélkül politikai nézetei miatt börtönbe vetették másfél évre. A lajosmizsei kúriát elvették és a Bimbó úti lakást

is el kellett hagyni. Így átköltöztünk anyai nagyszüleinkhez a Thirring házba.



Dr. Thirring Gusztáv, a M. T. E. diszelnöke.

https://hu.wikipedia.org/wiki/Thirring_Guszt%C3%A1v

Édesanyám Thirring lány volt. Dédapám, Gusztáv statisztikus, geográfus és turista. Ezen kívül ő volt a Budapest Fővárosi Statisztikai Hivatal igazgatója, a Magyar Tudományos Akadémia tagja, egyetemi magántanár, a Magyar Földrajzi társaság alelnöke és számos könyv szerzője. Volt kitől örökölni a rendszerszemléletet! A nagyszülők Kuny Domokos utcai háza, a „Thirring ház” mindig is családi menedékként szolgált.

Az 1943-as születésű Somlyódy László kisgyermekként átélte édesapja politikai hitvallása miatti bebörtönzését, majd a családot 1951-ben a szülők származása miatt kitelepítették a Tisasüly melletti Vallyon-telepre.

Hogyan tudtak a szülők nyugodt családi háttérrel varázsolni az 1950-es években?

1951-ben a kitelepítés előtti napon késő este tíz körül kaptuk meg a végzést, hogy másnap reggel 5-kor értünk jönnek. Bár a szüleim Pesten szerettek volna hagyni engem és a nővéremet, de mi mentünk a szüleinkkel. Vonattal Szolnokra vittek, majd tovább Tisasülyre, ott is egy tanyára, a Vallyon-telepre.

A gyerekek másként élték meg a kitelepítést, mint a szülők. Bár az iskola oda-vissza nyolc kilométer gyaloglást jelentett, ám a papírból készült focilabda és a bakancsos csúszkálás a jégen feledtette a gyerekek számára az embert próbáló körülményeket. A nyolc összevont osztályban működő iskola azonban hatalmas hátrányt jelentett!

1953-ban a nővéremmel már visszaköltözhattünk Budapestre, a Kuny Domokos utcai Thirring-házba, a nagyszülőkhöz. 1955-ben a szüleim is visszatérhettek, és mondhatni „szerény” körülmények között, de végre együtt élhetett a család. Szüleim Csepelen, a Rákosi Művekben vasesztergályosként kaptak állást, így tudtak eltartani bennünket.

TANULMÁNYOK

A tiszasülyi összevont nyolcosztályos általános iskola gyenge alapot szolgáltatott a budapesti általános iskolába. Ilyen hátrányból indulva, mi adott erőt egy 10 éves fiúgyermeknek a felzárkózáshoz?

Mi adott erőt? A jó helyzetet a szerencse teremtette, az erőt pedig az egészséges hiúság adta. Az általános iskolai orosz tanárnő, aki ismerte a családot, egy gyenge felelet után ezt mondta: „Egy Somlyódytól sokkal többet várok”. Ez volt az a pillanat, mikor rájöttem, hogy tartozom a családnak és tartozom magamnak is.

Az 50-es években azt mondták, hogy aki egyetemen akarja folytatni, az menjen gimnáziumba, aki szakmát akar tanulni, arra a technikum várt, mivel szakma kell a család fenntartásához. Származásom miatt az egyetemi felvétel vágyálomnak tűnt, így apám – aki rendkívül praktikus ember volt – beíratott a legközelebbi technikumba, ami épületgépészeti orientációjú volt. Édesapám mérnök barátja, Halmos Kari bácsi is így helyeselt: erre a szakmára mindig szükség lesz! Így kerültem a Szabó Ilonka utcai Épületgépészeti Technikumba.

A technikum kitűnő műszaki alapot adott a pályakezdésre. Sok közép- és felsővezető került ki az osztályunkból.

A 60-as évek elején az ”egyéb” származás nem jelentett jó pontot az egyetemi felvétel során. Viszonylag kis eséllyel lehetett a Műegyetemre bejutni. Mi készítetted arra, hogy egy jó szakmával a kezeden belevegj a bizonytalan felvételibe? És miért pont oda felvételiztél?

Nemcsak az orosz tanárnő, de én is éreztem: egy Somlyódytól sokkal többet várok. Így egy jó szakmával a zsebemben jelentkeztem a Műegyetemre. Csodával határos módon 1961-ben feloldották a „rossz” származásúak felvételének korlátozását, így 1962-ben sikerült bejutnom a Budapesti Műszaki Egyetem (BME) gépészmérnöki karára.

Gruber József, Blahó Miklós, Fűzy Olivér és Vajna Zoltán! Ilyen nevekkkel voltam körülveve! Rajongásig szerettem a folyadékok mechanikáját és a kapcsolódó matematikát. A cél a jeles vizsga volt és ebbe beletartozott a politikai gazdaságtan is. Az egyetem végeztével negyed állásban már a BME Áramlástan Tanszékén találtam magam! 1967-1973 között a tanszéken, az MTA Áramlástechnikai Munkaközösségében tudományos segédmunkatársként, majd tanársegédként dolgoztam.

A SZELLŐZŐ MŰVEK

Mindenkinek meghatározó az indulás, az első munkahely:

1967-ben az egyetem végeztével a negyed állásos tanszéki munka mellett, a maradék ¾-ed állásra felvételiztem Varczaba elvtársnál a Szellőző Művekbe kutatómérnöki pozícióra. A Szellőző Művekben volt egy ipari környezetbe ágyazott tervező részleg, ahol kísérleti műhely is támogatta a tervezést és a gyártást, ideális volt egy kezdő mérnök számára. Az igazi elismerés 1967 szeptemberére érett be, mikor is a vállalatnak jelentős bevételt hozó szabadalmunk elismeréseként 270 Ft prémiummal honorálták a munkánkat.

Kitűnő volt pályakezdőként itt dolgozni. Méretezési útmutatót dolgoztam ki ventilátorokhoz, szlovák és NDK projektben dolgozhattam, ám megkérdeztem magamtól: 15 év múlva is a Szellőző Művekben szeretnék a ventilátorokkal foglalkozni? Valahogy benne volt a levegőben az is, hogy a gyárnak nincs jövője Pesten. Az üzem elavult, ami kizárta a jövőbeni fejlődés lehetőségét. A következő nap felmondtam! Ekkor 1972-t írtunk. A tanszéken, ahol negyed állásban dolgoztam említették, hogy a Vizsgadátkodási Tudományos Kutató Intézetbe (VITUKI) – aminek addig még a nevét sem hallottam – keresnek doktori fokozattal rendelkező áramlástechnikust. Mivel már 1972-ben doktoráltam, így jelentkeztem az állásra.

VITUKI

A VITUKI egy különleges hely volt. Aki dolgozott a VITUKI-ban tudja, hogy az az alap, amit ott kapott, a szakma szeretete, az igényesség, meghatározta egész szakmai életét. Somlyódy László az ott töltött 20 év alatt kipróbálhatta az összes széket, a tudományos munkatárstól a főigazgatói pozícióig.

Mit kaptál a VITUKI-tól?



1972-ben felmondtam a Szellőző Művekben. Az Egyetemen Vajna Zoltán kezembe nyomott egy telefonszámot. A vonal végén dr. Benedek Pál vette fel a telefont. ”Örülök Komám! Gyere ki hozzám!” mondta a telefonba Pali. Hamarosan a Benedek főosztályon találtam magam a

VITUKI-ban, vagy ahogy akkor mondták, a Zsilipen, mivel a VITUKI mellett volt a Kvassay Zsilip.

Annak idején a VITUKI-ban főosztályok voltak, később szervezték át intézetekké. Első feladatomban az áramlástan és vízminőség kapcsolatának irodalomkutatása volt. Őszintén? Nem értettem hozzá! Mármost a vízminőségi részhez. Egy évig dolgoztam az irodalomkutatáson! Ez volt az indulás a VITUKI-ban.

A következő kihívás a rothasztók áramlástan vizsgálata volt. A VITUKI híres „A” épületében építettünk egy plexi modellt, és az iszapáramlást levegővel modelleztük, szigorúan betartva a hasonlósági számokat. Ma már hihetetlen, de abban az időben nem lehetett műszereket vásárolni, így elképesztő találmányossággal építettünk fel egy-egy kísérletet. Például hődrótos sebességmérőt használtunk, mivel szerencsére az kapható volt. Hatalmas lehetőség volt, hogy a WHO-fenntartott egy műszerkeretet, amiből néha le-le csippentettünk egy-egy 10 ezer dolláros műszerbeszerzési projektet.

A VITUKI híres volt a külföldi kapcsolatairól is!

Sok vizes szakember köszönhette Benedek Palinak az első külföldi tanulmányútját, külhoni konferencia részvételét, vagy egy nemzetközi projektben való tevékenységét. A 70-es évek közepén indult Magyarországon a WHO támogatású Duna Projekt, ahol egyebek mellett egy elkeveredési modellt kellett kifejleszteni. Az elkeveredési modellt verifikáltuk először a Sajón, majd a Rábán és a Dunán. A VITUKI-ban csodás dolgok történtek. Nicken például egész éjjel mértünk, közben gombásztunk. Tehát volt mérési eredmény és rántott gomba is, de nem volt majonéz. A közeli tejüzemben cseréltünk éjszaka egy üveg szürkebarátot tejföldre. Így reggelre lett eredmény és reggeli is. Az igazi nagy falat a dunai mérés volt, ahol 5 hajóval, 15 emberrel mértünk sebesség és diszperziós adatokat a modell verifikálásához.

Amit csak kevesen tudnak:

Stelczer Károly főigazgató úr Somlyódy Lászlót, vagyis a kocsját egyszer kitiltotta 3 hónapra a VITUKI-ból, ugyanis rossz helyen parkolt! Akkor rend volt a VITUKI-ban!

A VITUKI különleges voltát az is mutatta, hogy már az 1950-es évektől „dübörgött” az UNESCO IHE Delft Víz-oktatási Intézettel való együttműködés. Ennek keretében egy holland delegáció adott elő 1977 nyarán a VITUKI frissen átadott új épületének nagy konferenciatermében. Dr. Stelczer Károly igazgató úr leparancsolt bennünket a 905-ös szobából az előadásra, bár megmorogta a rövid nadrágomat! Az előadáson kérdés-kérdést követett, amiből kisebb szakmai vita kerekedett. Végül berendeltek az igazgatói irodába, ahol ott ült a delfti intézet igazgatója, aki meglepetésemre meghívott 2 hétre. Még abban az évben egy badeni konferencián találkoztam az International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) igazgató-helyettesével, aki szeretett volna meghívni az IIASA-ba, ahol főleg a nagyléptékű, globális modellek területén értek el figyelemreméltó eredményeket. Azt mondtam, hogy ha nem

tudom, hogy hova megyek, akkor nem mondhatok igent. Nem gond, mondta és meghívott először 2 hétre, majd 6 hónapra, végül még egy évre. De akkor már 1982 volt, és visszatértem a VITUKI-ba.

1982-ben a VITUKI-ban a főigazgató Kovács György volt és a régi főosztályokat már átszervezték intézetekké. A VITUKI egészen különleges szakmai műhely volt. Kitűnő professzionális és baráti légkörrel, érdekes munkákkal, szép környezettel, tenispályákkal és uszodával. Mindehhez tartozott még a sok külföldi kapcsolat. Most tudjuk csak igazán értékelni az akkori helyzetünket. Visszatérve az IIASA-ból, felkérést kaptam a II. Hidraulikai Intézet igazgatóhelyettesi posztjára, ahol saját csapatot építhettem. Csak néhány név: Koncsos László, Bognár Sándor, Fehér János, Pintér János. Csupa fényes elme! Célunk a hidraulika és a vízminőség összekapcsolása volt. Foglalkoztunk a Dunával, a Balatonnal és a modellezéssel. A VITUKI legjobbjaiból válogathattam.

Am 1985-ben nyugdíjba ment Benedek Pál, így januárban visszatértem eredeti intézetemhez és átvettem a helyét, kineveztek a III. Vízminőségvédelmi Intézet igazgatójának. Teisztett az Intézet. Jó volt a szemlélet, szakmailag erős volt a gárda. Igaz, a fő hangsúly a szennyvízkezelésen volt, de az ivóvizet például olyan nevek jegyezték, mint Licskó István, Kiss János és Juhász József. Jolánkai Géza egy teljesen új területet hozott be, nevezetesen a diffúz szennyezések vizsgálatát. Csak néhány név: Dobolyi Elemér, Szabó Zsuzsa és Takács Imre, aki ma már egy világhírű céget vezet. Takács Imrének az 1980-as évek végén szereztem egy kanadai ösztöndíjat. Nehéz volt elengednem, de Imrének ez az ösztöndíj alapozta meg a kanadai életét és a nemzetközi hírnevét.

1988-ban a VITUKI megüresedett főigazgatói székébe kerültem! Őszintén, hatalmas kudarc volt! Furcsán változott a világ! A korábbi nagy, de egységes szervezettű kutatóintézet addigra szétszakadt kis kft-kre. Újra kellett volna építeni a VITUKI-t, idomulva az új világhoz. Sajnos a Minisztérium vezetése nem volt partner a reformokban.

Így 1991. április 1-én felmondtam és fogalmam sem volt, hogy merre tovább! Am többen megkerestek itthonról és külföldről is. A karlsruhei egyetemről professzor Hahn, aki a Fulbright Ösztöndíj bizottság nevében felkért, hogy havonta adjak elő.

VISSZA AZ EGYETEMRE



Az egyetemi élet kalandosan indult. Mikor elköszöntem a VITUKI-tól 1992-ben $\frac{1}{4}$ állásban újra visszahívtak a Műszaki Egyetemre. A BME Építőmérnöki Kar dékánja meghívott egy kávéra és azt mondta: legyen a BME vízminőségi professzora $\frac{1}{4}$ -ed státuszban. 1994-ben Göncz Árpád köztársasági elnök úrtól átvehettem professzori kinevezésemet.

1996-tól már teljes állásban megpályázhattam a Vízéleltetés-Csatornázás Tanszék (VICSA) vezetését. A kinevezéshez a dékáni tanács döntése volt szükséges, ám...leszavaztak. De két nap múlva Kollár Lajos akadémikus, a mechanika professzora megkeresett:

„Lacikám, nagy marhaság lenne, ha nem pályáznál, egy embernek tennél rosszat és ez Te vagy!”

Így váltottam Öllös Géza professzor urat a tanszékvezetői székben. Öllös professzor iskolát alapított, a semmi-ből hozta fel a VICSA tanszéket. Kinevezésem után kicsit fiatalítottam. Csak néhány név a sok tehetséges fiatal közül: Fleit Ernő, Simonffy Zoltán, Istvánovits Vera, Koncsos László, Szilágyi Ferenc, Buzás Kálmán, Darabos Péter, Honti Márk! Rendkívül erős és intelligens csapat volt.

A Balaton mellett, talán az egyik legérdekesebb munkánk a brazil vízminőségsszabályozás volt. Tulajdonképpen a jól ismert magyar balatoni probléma egy brazil milióbe csomagolva. A csodálatos természeti környezettel megáldott város, Rio de Janeiro egyik fontos ivóvízkészletét biztosító felszíni víz védelmére készítettünk stratégiai tervet. Koncsos László és pár fiatal volt segítségemre ebben a munkában.

És hogy a brazil környezet mit jelentett? A döntések úgy születtek, hogy egy 40 méter hosszú asztal fő helyén ült a kormányzó, mellette jobbra és balra egy államtitkár és a víziközmű szolgáltatók főnöke. Közben kinn az utcán tüntettek a szennyvíztelepek építése ellen! Végül – szerencsés módon – az idő tájt megjelent egy rendelet, ami a hatásvizsgálat szükségességéről szólt, így annak készítése alatt felfüggesztették a beruházást, megnyugtatták a lakosságot és a kormányzó is jó döntést hozhatott.

Így vezettem a tanszéket 2009-ig, amikor Koncsos Lászlónak adtam át a stafétatobot.

AKADÉMIA

Milyen volt tudományos életutad?

A kisdoktorimat 1972-ben még a Műegyetemen megvédtem. A hetvenes években az egyetemi doktori fokozatot a kandidátusi követte, melyet az MTA Tudományos Minősítő Bizottsága adott. A kandidátusi fokozatot 1993-ban automatikusan PhD-nek minősítették át. A kandidátusit a VITUKI-ban készítettem 1978-ban, a Balaton vízminőségsszabályozása témában. A házi védést a VITUKI konferenciatermében így fejeztem be: szeretném bemutatni az elmúlt három év legnagyobb eredményét. És felvetítetem Nóri lányom egyéves képét. Volt is felháborodás! A nagydoktorimat 1985-ban védtem, 2000-ben már az Akadémia levelező tagja lettem, 2006-ban pedig rendes tag. Az Akadémián különböző osztályok és bizottságok működnek.

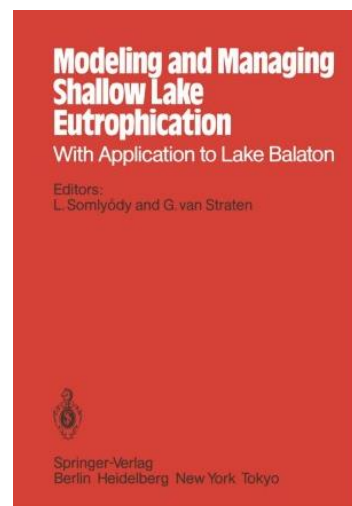
A tudományok osztályai jelölik a levelező és a rendes tagokat. A Műszaki Tudományok Osztálya elnökének választottak 2000-ben. Mivel ez a pozíció hároméves és csak egyszer lehet újra elnyerni, így hat évig tölthettem be ezt a tisztséget.

Jól gondolom, hogy ez a műszaki tudományok első emberének a pozíciója?

Így igaz! Azon túlmenően, hogy mi jelöltük ki a levelező és a rendes tagokat a szakterületről, integrálni kellett az osztályok és a szakbizottságok munkáját is. 2008-ban Pálincás Józseffel versenyezve indultunk az akadémia elnöke címért. Pálincás József nyert. El kell ismernem, hogy mint akadémiai elnök jól végezte a dolgát. Így volt jó, ahogy volt.

IIASA ÉS A BALATON

Különleges összefonódást mutat a szakmai életutadban a Balaton és az IIASA.



1977-ben az IIASA rendezett egy konferenciát Veszprémben a sekély tavakról. Herodek Sándor (Tihanyi Limnológiai Kutatóintézet igazgatója) felkért, hogy tartssak előadást a Balatonnal kapcsolatos kutatásainkról. Nem kellett mondanom, mivel még nem végeztünk a Balatonon folyó felméréssel. Ám a konferencia alatt befejeztük a programot és csináltunk egy előzetes értékelést annak bemutatására, hogy a felkeveredés hogyan befolyásolja a fényviszonyokat. Első lépésként egy MIT jelentés alapján egy 3 dimenziós modellel azt vizsgáltuk, hogy a tó rétegződése hogyan alakul a felkeveredés függvényében. Ezt adtam elő Veszprémben. Itt találkoztam Oleg Vaszilievvel, aki meghívott az IIASA-ba először két hétre. Az IIASA a Bécestől délre fekvő Laxenburgban, Mária Terézia egykori nyári palotájában működő Nemzetközi Rendszerelemzési Kutatóintézet (International Institute for Applied Systems Analysis).

Az IIASA-ban töltött első két hét után állásajánlatot kaptam. A hetvenes években a nyugati intézetekhez hasonlóan nehéz volt kijutni az IIASA-ba. Először visszadobták a kiutazási kérelmet, majd kiengedtek az intézetbe. Közül három évet töltöttünk kinn.

Amit csak kevesen tudnak:



Oleg Vasziliev feddhetetlensége és őszintesége jó hangulatot teremtett a Kutatási-Környezetvédelmi csoportban. A magas színvonalú elvárásai mellett mindig igyekezett segíteni a csoport tagjainak, és azonos fontossággal kezelt minden témát, beleértve a levegő minőségét, a vízellátást, a száraz területeket, a talajeróziót és az éghajlatot. A csoport tagjai között volt: Andy Anderson, Bruce Beck, Valentin Csernyatyin, Kurt Fedra, Gennagyij Golubev, Janusz Kindler, Eli Runca, Somlyódy László, Ken Strzepek, Nicolay Voroncov, Anna John, Sofia Boitsova és Raimo Ruottu.

Az intézet olyan lehetőséget adott, amit soha nem gondoltam. Megadatok, hogy a kimagasló Janus Kindler professzorral dolgozhattam a „Shallow lake eutrophication” projekten. Az úgynevezett piros könyv (lásd a képen) is ebből a munkából született!

1982-ben záródott a Balaton kutatás, melynek zárójelentésében 16 beavatkozást nevesítettünk. Többek között a Kis-Balaton visszaállítást és a szennyvízelvezető körcsatornázást. A leghatékonyabbnak az bizonyult, ha a szennyvízből származó oldott foszfor terhelést csökkentjük, például a zalaegerszegi tisztított szennyvízből származó foszforterhelés szabályozásával, valamint a diffúz szennyezések közben tartásával.

Oleg Vasziliev az IIASA kutatási és környezetvédelmi igazgatója volt 1977-1981 között. 1981. február 14-én kezdtem egy újabb kutatási ciklust az IIASA-ban. Ebből után Oleg behívott a szobájába és azt mondta: „László beszélünk kell!”. És még aznap eltűnt Oleg. A pletykák szerint azonnal visszarendelték a Szovjetunióba! Remélem nem azért, mert velem akart beszélni!

Mindentudás Egyeteme 2003

A Mindentudás Egyeteme, mely szerethetővé és érthetővé teszi mindenki számára a tudományt a matematikától az agykutatásig, 2003-ban feltette a kérdést Somlyódy Lászlónak: mekkora a felelősségünk abban, hogy a jövő generációk is elegendő tiszta vízhez juthassanak és mit tehet a társadalom és az egyes ember azért, hogy vizeink egészségesek legyenek? A választ „Az értől az óceánig – a víz: a jövő kihívása” című előadás adta meg (<https://tinyurl.com/mwd23zsw>).



Hogyan is indult a Mindentudás Egyeteme? Az Akadémia professzorai elgondolkodtak arról, hogy hogyan is lehetne átadni a tudást, eladni a Mindentudás Egyetemét. A kulcs: jól érthető előadásokat kellene készíteni. Az Akadémia volt a fő kezdeményező. Kijelöltek vagy 20 területet az első

blokkban, majd még vagy húszat. Azt mondták nekem: hozz egy előadást a vízről, meg sem próbáltak befolyásolni, orientálni. Boldogan mondtam igen. A baj akkor kezdődött, mikor elkezdtem írni az előadást. A Peking-Budapest repülőn szerettem volna megcsinálni, de még két whisky után sem írtam semmit. Túl nagy falat volt. Egy héten keresztül azt kérdeztem magamtól és másoktól is: miért fontos a víz? Mi lenne érdekes egy ilyen előadásban? Legyen 90% Balaton és 10% szennyvíz? Ehhez a két gondolathoz kellett a tudományt hozzárendelni? Mi is az elvárás: legyen igényesen tudományos, ám mindenki számára érdekes, vagy csatánós, vicces?

Gondolkodtam tér-idő hatásokon, múltbeli esetek jelenkori időszerűségéről! A XIX. század második felében dúló kolera járványról és annak megoldásáról. Nézzük meg, hogy a jövőben mit lehet és mit érdemes tenni? Így jutottam el a fürdőszobától a szennyvíztelepekig. Szerintem a foszfort kell megfogni, mert ez limitálja az alga szaporodását. Sok tényezőtől függően a nitrogén is fontos szerepet játszik.

A KÖNYVEK

Bár Somlyódy László 10 könyvet és 36 könyvfejezetet jegyez, de az igazi szakmai hitvallás a „Felszíni vizek minősége” című, 2018-ban megjelent könyvben fogalmazódik meg. A munkatársai ösztökélésére „kitöltött” lapok – aki nem érti, az lapozza fel a könyv előszavát – adnak választ arra a kérdésre, hogy hogyan kell a józan mérnöki gondolkodást a problémamegoldás szolgálatába állítani.

Mi készíti az embert, hogy írjon, publikáljon, cikket jelentessen meg?

Van, amikor csak úgy jön. Vannak külső-belső kényszerek, pl., hogy a szakmának írd le, vagy pl. az igény, hogy mi-ben tudnék segíteni.

Az első publikációm megtiszteltetés volt, mivel Gruberrel és Fűzyvel írhattam együtt. Sokan átérték ezt a bizsergető élményt! Fűzy professzorhoz bevittem egy 20 oldalas írást az axiális ventilátorok újratervzéséről. Fűzy letette az asztalra és azt mondta: „Gyere vissza egy óra múlva!” Mikor visszamentem, azt mondta: menj be a dékániba és vonjad vissza a doktori témádat és az axiális ventilátorokból írd a doktoridat! Sőt, Fűzy professzor be is vette a könyvébe a méretezési módot és Somlyódy-módszernek hívta. És ez őszintén boldoggá tett. Az életem célja akkor az volt, hogy önálló, erős cikket tudjak írni.

Van olyan, amikor a jövőt tartod szem előtt. Mit tudok itt hagyni a jövő számára? 2011-ben várakozó helyzetben voltam. Itt valami értelmeset kellett csinálni. Például a

2011-es vízgazdálkodási stratégiai kötetnél az motivált, hogy sok változás közepette éltünk. Hogyan lehet ezt úgy kezelni, hogy a folyamatok egymásba kapcsolódjanak, erősítsék egymást. Nagy volt az érdeklődés és ez inspirált. Valamint jó volt a szakmai közhangulat is.

BALATON

A Somlyódy név összekapcsolódik a Balatonnal. Sokan így neveznek: A balatonember...

Vitorlás ember voltam a 70-es évek elejétől. A teniszcsapattal is gyakran jártunk a Balatonnál. Abban az időben kezdett a tó színe a spenótra hasonlítani. A hetvenes évek közepén már érzékelhető volt, hogy valami nincs rendben, valamit tenni kell! Beszélgettem a VITUKI-ban Felföldy Lajossal és Tóth László biológusokkal, hogy mi is a helyzet. Sokan azt hitték, hogy a szervesanyag terhelés miatt algásodik a tó. Tóth László az egyik közös ebéd alatt a VITUKI kávéházában azt mondta: megszereztem a kutatási pénzt a VITUKI vezetőségétől. Így 1976-ban elindult egy féléves mintavételi program. Reggel negyed 10-kor kezdtük a mintavételt a szemesi tóközépi mérőállomáson. Mértük a meteorológiai, fizikai, kémiai és biológiai paramétereket. Hat hetes napi mérősorozat és mintavétel volt három mélységben. Később ezt a mérési programot a Keszthelyi-medence közepén is megismételtük.

A szél jelentős szerepet játszik egy sekély tó viselkedésében, a felkeveredés, a lebegőanyag-koncentráció, illetve fényviszonyok miatt, kihatva a fotoszintézisre és az algásodásra. Így készítettünk matematikai modelleket, melyekkel szimulálhattuk a Balatonban lejátszódó folyamatokat.

A Balaton esetében szerencsés dolog volt a tudomány és a politika összefogása, közös akarata. Az Akadémia 3-4 évente átfogó kutatási programokat indított, a 80-as évek elején Láng István főtitkár-helyettes úr „beénekelte” a Balatont a kutatási programba. Egy management tervet kellett készíteni, így a program előkészítése behullott az ölembé. Készült egy beavatkozási terv, ütemezett beruházásokkal. 3 célállapotra dolgoztuk ki a tervet:

- A – a meglévő vízminőség megőrzése,
- B – a 70-es évekre jellemző állapot elérése,
- C – a 60-as évekre jellemző állapot elérése.

Szerencsére a parlamenti viták során a politikusok megértették, hogy a Balaton értékét a víz minősége határozza meg. Az A-B-C célállapot értelmet kapott, a beavatkozások számszerűsíthetővé, értékelhetővé váltak a politikusok számára is.

Persze ez nem ment könnyen. 1982-ben meghívtam a döntéshozókat az IIASA-ba, ahol egy munkaértekezlet keretében vázoltuk a lehetséges beavatkozási módokat.

Sokat segített Láng István és Asbóth Tibor, az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság kiváló szakembere. Mindenesetre a politikusok előbb-utóbb megértették, hogy mit kell tenni, és hogy mi mennyibe kerül. Kicsit segített az

a szomorú tény is, hogy a tó állapota egyre csak romlott, 1982-ben már spenót színű lett az algák miatt.

1983-ban végül is egy minisztertanácsi határozat született a Balaton megmentésére, ahol nevesítették a szükséges beavatkozásokat, beleértve a vízminőség-szabályozási teendőket is, úgymint a Kis-Balaton védőrendszer megépítését, a körcsatornázást, a mezőgazdasággal kapcsolatos teendőket, az építkezési tilalmat és egyebeket.

Amit csak kevesen tudnak:

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

Lázár György, az akkori miniszterelnök tette végül a pénzt a kormányhatározat mellé. Tudtuk, hogy egy ilyen biológiai rendszer tehetetlensége hatalmas. Bár a foszforterhelés szépen lassan csökkent, ám 1994-ig szinte semmi nem változott a víz minőségében. A fordulatot 1995 hozta meg. Azóta a vízminőség már tartósan olyan, mint az 1960-as években volt. De ne gondoljuk, hogy a feladatot elvégeztük. A tó folyamatos törődést, monitoringot igényel.

A Balatonnak nemcsak minőségi, de mennyiségi problémái is voltak.

Valóban! 2000 és 2003 között rendkívül száraz időszak volt, így a Balaton vízszintje 70 centiméter körülire süllyedt. Felmerült a más vízgyűjtőről történő átvezetés lehetősége, ám ez rendkívüli veszélyeket hordozott.

Kóródi Mária, akkori környezetvédelmi miniszter felkért, hogy vizsgáljam meg a beavatkozási lehetőségeket. Letettünk egy munkatervet, melyben vállaltuk, hogy öt hónap alatt elkészítjük a beavatkozási javaslatot. Kitűnő csapatmunka volt. Kifejlesztettünk egy autokorrelációs modellt, melynek segítségével időben előre és hátra tudtuk jelezni a Balaton vízszint-változását a havi átlagos vízkészletek függvényében. Végül arra az eredményre jutottunk, hogy az igényeinket a természetes állapothoz kell igazítani, nem pedig fordítva. Tehát, nem kell tenni semmit. Mára már igazolódott! Jól döntöttünk!

Mi a Balatonról a jövőképed?

Az Erie-tóhoz hasonlítanám a Balatont. Bár ott is készült egy szabályozási terv, de a vízminőség először javult, majd romlott. Miért? Nem tudjuk. Egy magyarázat lehet: a terhelés nagyobb volt az üledékben, mint feltételeztük, mivel ez is hozzájárul a cianobaktériumok viselkedéséhez.

Ez egy jó példa arra, hogy egy jól kézben tartott tóval is lehet baj. A Balaton is hasonló. A tóval foglalkozni kell, mérni kell és folyamatosan nyomon kell követni a folyamatokat!

Kiürült a kávéscsésze

Az elmúlt szerdákön folytatott beszélgetések bepillantást adtak egy gazdag és sikeres szakmai pályafutás színpala mögé is. Ám érdekelne, ha rangsorolni kell, úgy melyek a „szívednek legkedvesebb” szakmai eredmények?

A Szellőző Művekben, az axiálventilátorok változó perdületre történő méretezése egy olyan metodikát adott, amit később Somlyódy-módszerként tart számon a szakirodalom.

Az IIASA-ban töltött időszak meghatározta egész életemet, mint szakmailag, mint pedig emberileg. Ott sok kutató fordult meg és életre szóló barátságok kötődtek.

Kétségtelen, hogy az egyik legnagyobb eredmény a Balaton megmentése volt!

Beszéltünk az indíttatásról, a tanulásról, a VITUKI-ról, az IIASA-ról a Balatonról. Mintha ez egy szépen felépített életút lenne! Az egyik esemény szüli a másikat! Mennyire tudjuk szabályozni a sikeres szakmai életutunkat?

Millió véletlen történik, ami befolyásolja pályánkat, ám nem a véletlenek irányítanak mindent! Az embernek fel kell készülnie arra, hogy befogadója legyen az impulzusoknak, amelyek irányíthatják, befolyásolhatják a pályáját.

A Szellőző Művek, az első munkahelyem megtalálása pl. véletlen volt, de az egyetemen már előkészítettem a terepet a doktorimmal. Az első balatoni kutatás véletlen volt, de a Veszprémben tartott előadás, ahol az IIASA igazgatóhelyettese ott ült mellettem, megalapozta az IIASA-val a kapcsolatot, és a további Balaton projekteket.

Köszönetet mondok Somlyódy Lászlónak, hogy megosztotta velem és a Hidrológiai Közlöny olvasóival emlékeit. Élveztem az itt töltött szerdákat, Laci egyéniségét, hihetetlen történeteit és a finom kávékat. Köszönöm!

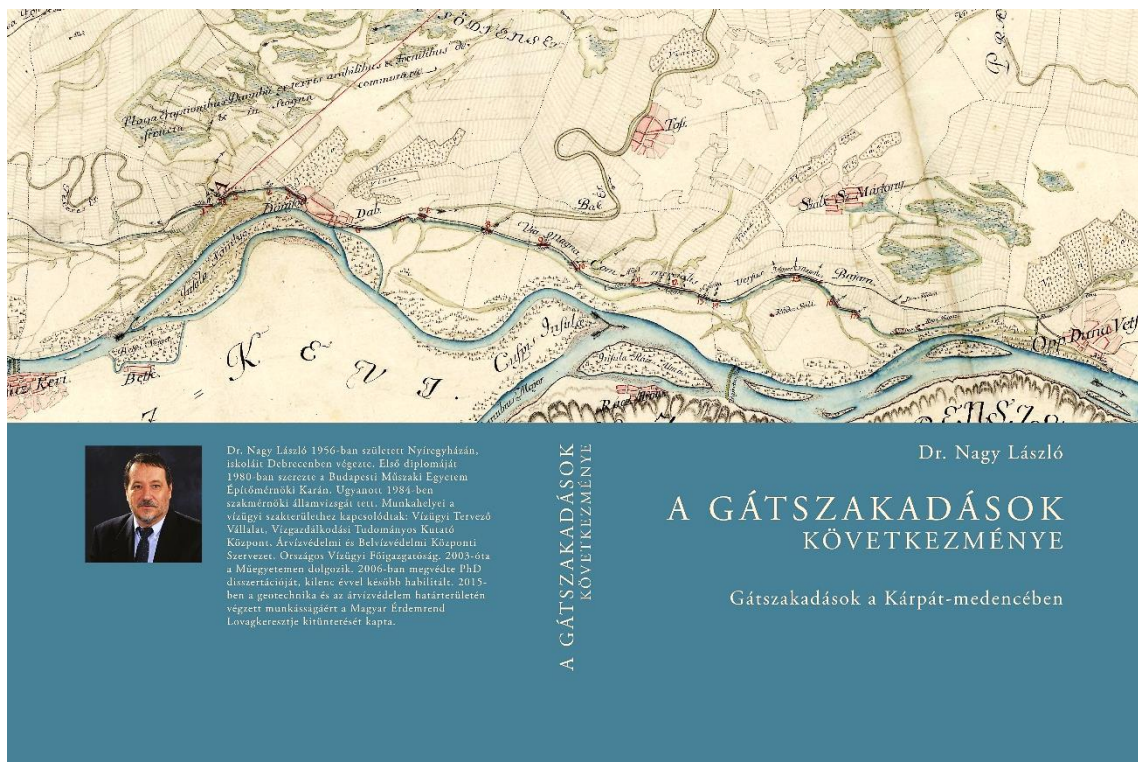
*Dr. Major Veronika
a Hidrológiai Közlöny főszerkesztője*

Könyvismertetés

Nagy László „A GÁTSZAKADÁSOK KÖVETKEZMÉNYE – Gátszakadások a Kárpát-medencében” című könyvéről

Dr. Nagy László építőmérnök, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem egyetemi docense „Gátszakadások a Kárpát-medencében. Gátszakadások kialakulásának körülményei” című könyvének I. kötetéről, a Hidrológiai Közöny 2018. évi 1. számában jelent meg ismertetés. A könyv az árvízvédelem feladataival, az árvíz befolyásoló természeti tényezőkkel, a Kárpát-medence vízrendszereiben történt emberi beavatkozásokkal, az árvizek során bekövetkezett, illetve feltárt több mint 2 858 gátszakadással, valamint a szakadások mechanizmusával foglalkozik.

Akkori ismertetőnkben kifejeztük abbeli reményünket, hogy mielőbb kézbe vehetjük a II. kötetet is. Nem kellett sokat várnunk erre, hiszen az immár tucatnyinál is több könyv szerzője, 2019. évben elkészült „A gátszakadások következménye – Gátszakadások a Kárpát-medencében.” című kötettel. Ennek kiadója, akárcsak az I. köteté, az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF). A könyv lektorálását Fejér László, Kisházi Konrád Péter és Lovas Attila vezette.



Dr. Nagy László 1956-ban született Nyíregyházán, iskoláit Debrecenben végezte. Első diplomáját 1980-ban szerezte a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karán. Ugyanott 1984-ben szakmérnöki állami vizsgát tett. Munkahelyei a vízügyi szakterülethez kapcsolódnak: Vízügyi Tervező Vállalat, Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ, Árvízvédelmi és Befizvédelmi Központi Szervezet, Országos Vízügyi Főigazgatóság. 2003-óta a Műegyetemen dolgozik. 2006-ban megvédte PhD disszertációját, kilenc évvel később habilitált. 2015-ben a geotechnika és az árvízvédelem határterületén végzett munkásságáért a Magyar Érdemrend Lovagkeresztje kitüntérést kapta.

A GÁTSZAKADÁSOK
KÖVETKEZMÉNYE

Dr. Nagy László

A GÁTSZAKADÁSOK KÖVETKEZMÉNYE

Gátszakadások a Kárpát-medencében

A könyvborító kiterítve, melyen Balla Antal geometra 1793. évi felmérése látható. Az 1799. évi jeges árvíz 17 gátszakadásának helyét mutató vonalak később kerültek a térképre. 1799-ben a jég megállt Taksony és Majosháza között, majd Rácalmásnál (Tass), később Szalkszentmárton alatt is. A víz átcsapott a tassi töltésen elöntve a vadasi pusztát, a solti, dunavecsei sőt még az érsekcsanádi szántóföldeket is.

A könyv terjedelme 565 oldal, így együttvéve az I. és a II. kötet oldalszáma összesen 977 oldal. A II. kötet hasonlóan az I. kötethez, öt fejezetre tagolódik (a fejezetek sorszámozása, akárcsak az ábrák, képek, táblázatok sorszámozása, folytatódik az I. kötetben befejezett sorszámokkal): 6. fejezet – Gátszakadások geomorfológiája (84 oldal); 7. fejezet – Gátszakadás károk (64 oldal); 8. fejezet – Kárpát-medence gátszakadás esetek (66 oldal); 9. fejezet – Árvízvédelem külföldön (175 oldal); 10. fejezet – Forrásmunkák (30 oldal). A könyv végén két melléklet is található: 1. melléklet – Az adatgyűjtés szempontjai (16 oldal); 2. melléklet – Gátszakadások adatai (táblázatos formában, 109 oldal).

A 9. fejezet - Árvízvédelem külföldön, több ország árvízvédelmével ismerteti meg az olvasót történelmi eseményeken, árvizeken keresztül. Ennek alfejezetei: Katasztrófák értékelése; Nemzetközi gátszakadások; Történelmi gátszakadások Hollandiában; Árvízvédelem a Jangce mellett; Velence árvízvédelme; Árvízvédelem Japánban.

A könyv gazdagon illusztrált, 126 ábra, 307 kép, 96 táblázat színesíti, egészíti ki a szöveget. Az előszóban, valamint a fejezetcímek fellett illusztrációként további számozatlan képek találhatóak. Szerencsés lett volna megjelölni, az ábrák, képek forrását, szerzőjét, készítő-

sük/közlésük évét. A gazdag, 30 oldalnyi forrásmunka jegyzék összesen 879 címet tartalmaz.

Dr. Nagy László a „Gátszakadások a Kárpát-medencében” című könyv összeállításakor egy 26 éves kutatói és rendszerezői munka eredményét teszi közzé. A tapasztalatok értékelésével az a cél vezérelte a szerzőt, hogy segítse az árvizek ellen védekezők munkáját. A két kötet közel ezer oldalnyi olvasmányosan megírt értékes szövegből és illusztrációkból álló anyagának összeállítása, óriási intellektuális munkát igényelt, amiért elismerés illeti a szerzőt. A szakterület felől érdeklő-

dők rengeteg hasznos adatot, ismeretet szerezhetnek ezekből a kötetekből.

Láng István OVF főigazgató előszavában hangsúlyozza, hogy a kiadvány

„Alapmunka, és a vízügyi szakemberek számára kötelező olvasmány. Szükséges ahhoz, hogy a gátaikon való küzdelem irányítását a védelemvezető felelősen végezze, a jelenségeket megismerje”.

Dr. Konecsny Károly



Gátszakadás (<http://www.ovf.hu/hu/hirek-ovf/gatszakadasok>)