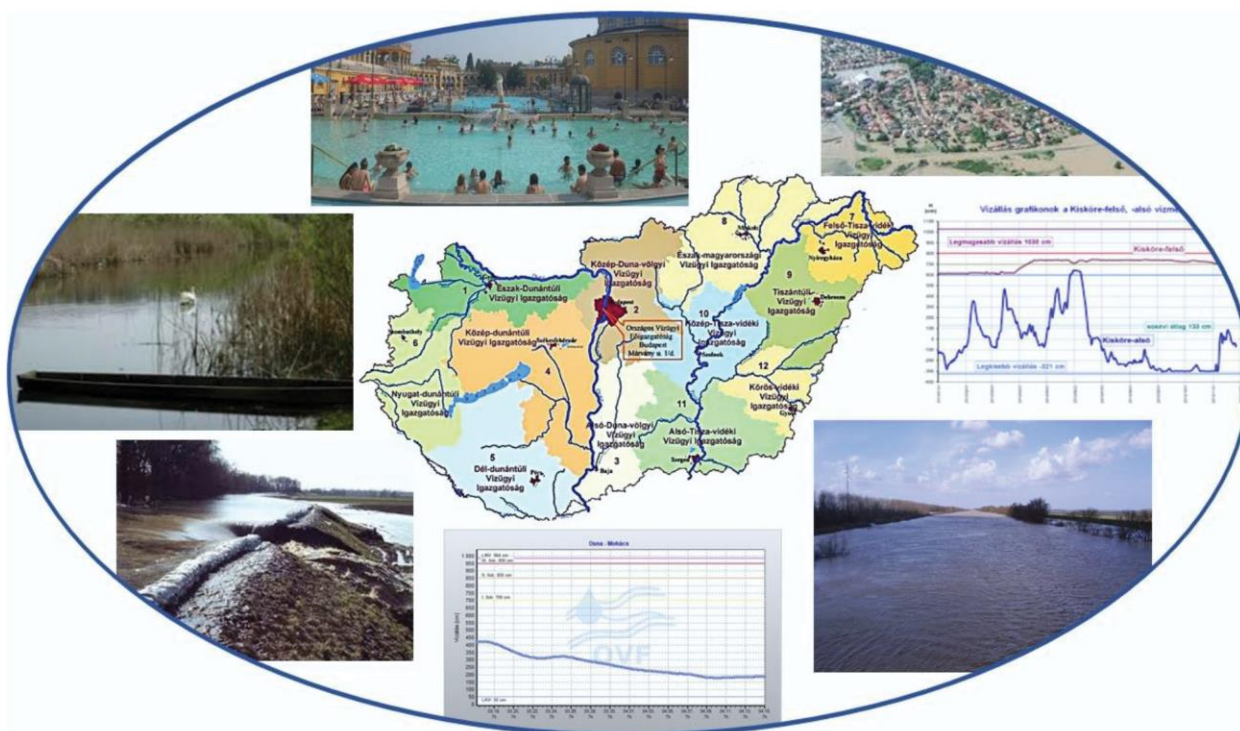


HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 100. ÉVF. 3. SZÁM • 2020
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 100. NO 3. • 2020





Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

Főszerkesztő

Fehér János

Szakszerkesztők

Ács Éva
Konecsny Károly
Nagy László

Olvasószerkesztő

Szlávik Lajos

Szerkesztőbizottság elnöke

Szöllősi-Nagy András

Szerkesztőbizottság tagjai

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

Kiadó

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

Hirdetés

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

Indexelik

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

Index: 25374
HU ISSN 0018-1323

Tartalomjegyzék

Fehér János: Előszó 3

SZAKCIKKEK

Schubert József, Sindler Csaba, Pinczehelyi-Tátrai Tímea, Gaál Erzsébet, Kovács Gábor, Ságghiné Juhász Ildikó, Szalóky Mira, Horváth Zoltán, Horváth Gábor, Pál Irina, Jakab Róbert, Mosonyi Zoltán: Vízgazdálkodás a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság működési területén 5

Kozák Péter: Az Alsó-Tisza vízgyűjtőjének vízgazdálkodási mérföldkövei az elmúlt 100 évben és kihívásai az elkövetkezendő 100 évre 18

Szlávik Lajos: Tíz évvel „Zsófia” és „Angéla” után - Rendkívüli hidrometeorológiai és vízkárelhárítási események 2010-ben 28

Mentes Gyula: Felszíni és felszín alatti vizek árapálya 44

Tamás János, Budayné Bódi Erika, Gálya Bernadett, Szabó Andrea, Fehér János és Nagy Attila: Integrált városi hidrológiai modell módszertani alapjai vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés támogatásához 56

Pomázi Flóra és Baranya Sándor: Nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának új vizsgálati módszerei 2. – Közvetlen és közvetett lebegtetett hordalékmérési eljárások összehasonlító vizsgálata 64

Emilov Alexander Anatol, Baranya Sándor, Fleit Gábor és Török Gergely T.: Képalapú módszerek fejlesztése folyók morfológiai vizsgálatához 74

Kerék Gábor: A videó alapú vízsebességmérés alapjai, és annak alkalmazhatósága jégzajlásos folyószakaszon 87

Katona Gábor: A Tisza-tó öblítő csatornáinak környezetbiztonságra gyakorolt hatása 95

NEKROLÓG

Dr. Kozák Miklós – Ijjas István megemlékezése 105



Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society
Published quarterly

Editor-in-Chief

János FEHÉR

Assistant Editors

Éva ÁCS

Károly KONECSNYI

László NAGY

Copy Editor

Lajos SZLÁVIK

Editorial Board Chairman

András SZÖLLŐSI-NAGY

Editorial Board Members

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

Publisher

Hungarian Hydrological Society

H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary

Phone: +36(1)-201-7655; Fax: +36(1)-202-7244;

Email: titkarsag@hidrologia.hu

Web: www.hidrologia.hu

Represented by: Lajos SZLÁVIK, President of the Hungarian Hydrological Society

Email: titkarsag@hidrologia.hu

Advertising

Secretariat of the Hungarian Hydrological Society

H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary

Phone: +36(1)-201-7655. Fax: +36(1)-202-7244

Email: titkarsag@hidrologia.hu

Indexed in

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

Index: 25374

HU ISSN 0018-1323

Contents

János FEHÉR: Foreword 3

SCIENTIFIC PAPERS

József SCHUBERT, Csaba SINDLER, Tímea PINCZEHELYI-TÁTRAI, Erzsébet GAÁL, Gábor KOVÁCS, Ildikó SÁGHINÉ JUHÁSZ, Mira SZALÓKY, Zoltán HORVÁTH, Gábor HORVÁTH, Irina PÁL, Róbert JAKAB, Zoltán MOSONYI: Water management on the operational area of the South-Transdanubian Water Management Directorate 5

Péter KOZÁK: Water management milestones of the Lower Tisza River Basin in the last 100 years and challenges for the next 100 years 18

Lajos SZLÁVIK: Ten years after "Zsófia" and "Angéla" - Extraordinary hydrometeorological and water damage prevention events in 2010 28

Gyula MENTES: Tides of surface waters and groundwater 44

János TAMÁS, Erika BUDAYNÉ BÓDI, Bernadett GÁLYA, Andrea SZABÓ, János FEHÉR and Attila NAGY: Methodological bases of an integrated urban hydrological model to support river basin management planning 56

Flóra POMÁZI and Sándor BARANYA: New investigation methods of suspended sediment transport in large rivers 2. – Comparative investigation of direct and indirect analysis methods 64

Alexander Anatol ERMILOV, Sándor BARANYA, Gábor FLEIT and Gergely T. TÖRÖK: Developing image-based methods for analysing morphodynamics in large rivers 74

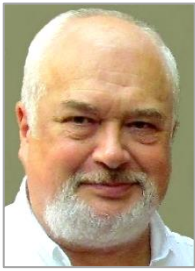
Gábor KERÉK: Basics of video-based water velocity measurements and its applicability on ice-drifting river sections 87

Gábor KATONA: The impact of flushing canals of Lake Tisza on environmental safety 95

OBITUARY

Dr. Miklós KOZÁK – Commemoration by István IJJAS 105

Előszó



A *Hidrológiai Közöny* ez évi első és második számában már közöltünk négy cikket, melyeket a Magyar Hidrológiai Társaság szakosztályai készítettek a hazai ár- és belvízvédelem, a szennyvízelvezetés és szennyvízkezelés, a vízvédelem, valamint a balneotechnika helyzetéről.

Folytatva a szakmai áttekintések sorozatát, a mostani számban az első két szakmai cikk beszámol a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (DDVIZIG) és az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (ATIVIZIG) működési területének vízgazdálkodási kérdéseiről a múlt, jelen, jövő kontextusában.

A DDVIZIG területén rendkívül sűrű a vízfolyáshálózat, mely vízfolyásokon sokszor rendkívül szélsőséges vízhozamváltozások fordulnak elő. A jelentős számú szerzői csapat által készített cikk a vízügyi igazgatóság általános bemutatása (természeti adottságok, a társadalmi és gazdasági jellemző adatok) után ismerteti a működési területen folytatott vízgazdálkodás jellemző elemeit, mint a területi vízgazdálkodás, a dombvidéki és síkvidéki vízrendezés, árvízvédelem és vízkárelhárítás, a felszíni és felszín alatti vízkészletgazdálkodás, valamint a vízgyűjtő-gazdálkodás és tervezés jelenlegi helyzetét, és ezen vízgazdálkodási területen jelentkező kihívásokat. Képet ad arról, hogy a DDVIZIG milyen szakmai feladatok megoldásán keresztül biztosítja a működési területén a társadalom víz iránti igényének kielégítését, illetve a víz káros hiányával vagy többlettel szembeni védelmet, egyúttal a vizek állapotának mind minőségi, mind mennyiségi szempontú megóvását.

Kozák Péter, az ATIVIZIG igazgatója cikkében hasonló célú feladatra vállalkozott. Kiemeli, hogy az Alsó-Tisza vidéke különleges hidrológiai tulajdonságokkal rendelkezik. A vízügyi igazgatóság területén található vízfolyások bár síkvidéki jellegűek, a vízfolyásokon kialakuló árhullámok kialakulása erősen eltérő, vannak nagyon rövid összegyülekezési idővel (egy-két napos) rendelkező vízfolyások a területen, de hosszabb idővel rendelkezők (akár 10 napos időelőnyűek) is. Az árvizek mellett a területet erősen érintik a visszatérő belvizek, valamint az aszályos és vízhiányos időszakok. A Szerző a múlt, a jelen és a jövő kontextusban mutatja be az egyes szakterületeken végzett igazgatósági tevékenységeket, rámutatva, hogy az igazgatóság működési területének természeti és éghajlati adottságai miatt csak folyamatos munkával biztosítható a társadalmi igények kielégítése.

Szlávik Lajos legújabb cikkében ismét az árvízvédekezés és belvízvédekezés közelmúltbeli egyik kritikus évét, a 10 évvel ezelőtti 2010-es évben történeteket mutatja be. Alapos, áttekintő tanulmányában ismerteti, miként hatott a felszíni hidrológiai folyamatokra a húsz napon belül kétszer is nagy csapadékot okozó, lassan mozgó, „Zsófia” és „Angéla” névre keresztelt két ciklon, amelyek döntő szerepet

játszottak Észak-Magyarország, a Bakony és a Mecsek vidéke számos kisvízfolyásán és folyóján kialakult példátlanul heves árhullámokban, illetve belvizek megjelenésében. A cikk bemutatja azokat a védekezési lépéseket, amelyekkel a vízügyi ágazat irányításával megakadályozták, illetve mérsékeltek a rendkívüli áradások okozta kártételeket.

A felszíni és felszín alatti vízkészletek pontos számbavétele alapvető érdek. *Mentes Gyula* cikkében rámutat arra, hogy a tengeri árapály minél pontosabb ismerete nemcsak a hajózásban fontos. A folytonos mozgásban levő víztömegek a szárazföldet is deformálják, ezért a szilárd Föld árapályának mérése során a tengeri árapály hatását, az ún. óceáni terhelést is figyelembe kell venni. A kutakban mért árapály ismeretere és pontos kiértékelésére egy viszonylag olcsó módszert mutat be a cikk, és egy példát is ismertet. A felszíni vizek árapályának kapcsán a cikk összefoglalja az óceánok és tengerek igen bonyolult árapály mozgását, és röviden foglalkozik a tavak árapályával, valamint a tölengés jelenségével is.

A vízgyűjtőkön belül a városi területek aránya folyamatosan nő világszerte, így hazánkban is. Ezért a vízgyűjtő-gazdálkodási tervek készítésének egyre fontosabb eleme kell legyen a településeken belüli vízkészletek, vízmérlegek pontos meghatározása, amelynek során figyelembe kell venni a klímaváltozás lehetséges szenárióit. *Tamás János* és társai kutatásai során GIS alapú modellrendszert dolgoztak ki, amely többszempontú döntési rendszer támogatására egységes hidrológiai modellbe integrál több hidrológiai tényezőt, úgymint a csapadékot, az evapotranszspirációt, az összegyülekezést, a beszívárgást, figyelemmel a felszíni vízfolyás hálózatra. A rendszer elősegíti és könnyebbé teszi a távérzékelés és egyéb térinformatikai adatok felhasználását megalapozottabb döntésekhez településeken belüli területre. A cikk bemutatja a rendszer alkalmazását Debrecen városra, amelynek során vizsgálták a városi hidrológiai ciklus elemeit, a felszíni lefolyást befolyásoló térbeli jellegű tényezőket, pontosítva ezzel a városi vízkészletre vonatkozó ismereteket.

A folyók lebegtetett hordalékhozamának ismerete vízminőségi, folyószabályozási, tározó üzemeltetési és ökológiai szempontból fontos adat. A hordalékhozam megfelelő pontosságú mérése hagyományos eszközökkel meglehetősen munkaigényes feladat. *Pomázi Flóra és Baranya Sándor* kutatási munkájuk során összehasonlító vizsgálatokat folytattak mintegy 500 vízminta elemzésén keresztül, a közvetlen és a közvetett lebegtetett hordalékmérési eljárásokkal kapcsolatban. A méréseik során szerzett tapasztalatok alapján összefoglalták a vizsgált hordalékmérési eljárások előnyeit és alkalmazási korlátait. Az optikai (LISST-PortableXR és VELP TB1 kézi zavarosságmérő), illetve akusztikus elven működő (LISST-ABS és ADCP visszavert jelerősség alapján) eszközökkel, eljárásokkal kapott eredményeket a hagyományos filtrációs (szűrőpapiros) módszerrel kapott eredményekkel összehasonlítva megállapították, hogy a direkt és indirekt eljárások közt erős kapcsolat áll fent, és ezért a vizsgált indirekt eszközök megbízhatóan kalibrálhatók.

A hetedik szakmai cikk egy olyan kérdéskört tárgyal, amely a Víz Keretirányelv megvalósítása során előtérbe került morfológiai szempontok figyelembevételéhez ad korszerű, új módszert. *Ermilov Alexander és társai* cikkükben a Duna egy-egy szakaszának morfordinamikai vizsgálatához képalapú módszerekkel végzett terepi tesztméréseik eredményeit ismertetik és értékelik. Rámutattak, hogy a hagyományosnak tekinthető terepi morfordinamikai vizsgálati módszerek sokszor nem tekinthetők reprezentatívnak. Ezért képalapú távérzékelési módszert választottak a folyók mederanyag szemösszetételének és görgetett hordalékhozamának meghatározására, valamint a mederdomborzat térképezésre, bemutattva a képalapú elemzési módszerek alapjait, az állóhajós és mozgóhajós mérési technikákat, valamint mérési eredményeik értékelését és a továbbfejlesztési lehetőségeket.

Az elektronika és információtechnika gyors fejlődése új, korszerű eszközök alkalmazását tette lehetővé a vízgazdálkodás olyan klasszikus feladatainak megoldásához is, mint például a vízfolyások felszíni vízsebességének meghatározása. *Kerék Gábor* videó alapú sebességelemzésen alapuló újszerű, kísérleti eljárást mutat be vízfolyások felszíni vízsebességének meghatározására, becslésére. Bemutatja a cikkben, hogy az eljárás hatékony lehet olyan terepi adatgyűjtések esetében, amikor más mérési eljárás nem alkalmazható, pl. villámárvizek elemzése, hosszabb vízfolyás-szakaszok sebességviszonyainak feltárása, nehezen megközelíthető monitoring-helyek mérése. A Szerző a videó alapú sebességelemzés módszer gyakorlati alkalmazhatóságára vonatkozó javaslatokat is tesz a cikk végén.

A kilencedik cikk a Tisza-tó („leánykori nevén” Kisköre-i tározó) környezeti, ezen belül kiemelten a vízminőséggel kapcsolatos biztonsági kérdéseivel foglalkozik. *Katona Gábor* cikke a létesítmény tervezése óta felmerült műszaki

és vízminőségi problémákra született megoldások eredményeit értékeli, figyelembe véve a hasznosítási módokban azóta bekövetkezett változásokat és az üzemelés kapcsán szerzett tapasztalatokat. Bemutatja, miként változott a létesítmény állapota az építést követően. Mi a következménye az eredeti tervekhez képest jóval alacsonyabb üzemvízszint tartásának, és értékeli a felmerült problémák kezelésére kidolgozott megoldásokat, valamint számba veszi az öblítő csatornák és tartozékainak egyéb, környezetbiztonságra gyakorolt hatásait.

Sajnos ismét eltávozott a magyar vízügyi szakma egy nemzetközi hírű, iskolateremtő, kimagasló tudósa, tanára. Életének 96. évében elhunyt *dr. Kozák Miklós* professzor, okleveles mérnök (BME), kandidátus (1958), a műszaki tudományok doktora (MTA 1968), a Budapesti Műszaki Egyetem Vízgazdálkodási és Vízépítési Intézetének nyugalmazott igazgatója, a Magyar Hidrológiai Társaság volt alelnöke. Kozák professzor úr elhunytá alkalmából volt kollégái, pályatársai, tanítványai és a Magyar Hidrológiai Társaság nevében *Ijjas István* professzor írt meleghangú, Kozák professzor szakmai életútját bemutató, kiemelkedő eredményeit megvilágító, búcsúztató megemlékezést. Mindannyian, akik ismertük Kozák professzor urat nagyon egyetértünk a nekrológ záró sorával: „Nagyszerű tudós, tanár és EMBER volt. Őrizzük meg az emlékét!”

Megítélésem, hogy a 100. évfolyam 3. száma ismét olyan tartalommal rendelkezik, amely sokak érdeklődésére tarthat számot, ezért ajánlom figyelmébe a lapot a Magyar Hidrológiai Társaság tagjainak, valamint a vizekkel való gazdálkodásban érintett valamennyi szakembernek.

Dr. Fehér János
címzetes egyetemi tanár
a Hidrológiai Közöny főszerkesztője

Vízgazdálkodás a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság működési területén

Schubert József, Sindler Csaba, Pinczehelyi-Tátrai Tímea, Gaál Erzsébet, Kovács Gábor, Sághiné Juhász Ildikó, Szalóky Mira, Horváth Zoltán, Horváth Gábor, Pál Irina, Jakab Róbert, Mosonyi Zoltán

Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 7623 Pécs, Köztársaság tér 7. (E-mail: titkarsag@ddvizig.hu)

Kivonat

A Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (DDVIZIG) egyike a működési területükkel az ország teljes területét lefedő 12 vízügyi igazgatóságnak. Bár az egységes vízügyi szervezet 1953. évi felállása óta az Igazgatóság feladatköre, dolgozóinak létszáma többször is jelentősen változott, azonban a vizekkel kapcsolatos államigazgatási feladatok ellátása mindig is változatlan maradt. E feladatkörön belül rendkívül széles körű tevékenységet folytat a vízügyi igazgatóság. A Duna és a Dráva érintettségéből adódóan (többek között) foglalkozik árvízvédelemmel, a mélyfekvésű területein pedig belvízi védekezéssel. Mivel a DDVIZIG területén rendkívül sűrű a vízfolyáshálózat, mely vízfolyásokon sokszor rendkívül szélsőséges vízhozamváltozások fordulnak elő, ellátja a vízfolyások vízlevezető képességének fenntartását biztosító rendezését, és részt vesz a helyi vízkárelhárításban. Teljesíti az Európai Unió Víz Keretirányelvének követelményeit, mely szerint gondoskodik a felszíni és a felszín alatti vizek ügynevezett „jó állapot”-ának eléréséről. Ennek érdekében folyamatos monitoring tevékenységet végez, melynek segítségével – mint az állami tulajdonban lévő vizek, vízkészletek vagyongazdálkodója – folyamatosan nyomon követi a vizek minőségi és mennyiségi állapotát. A feladatok sorát sokáig lehetne még sorolni, de ami a lényeg, és amiért mindezt a tevékenységet végzi az Igazgatóság az az, hogy egyidejűleg biztosítsa a társadalom víz iránti igényének kielégítését, illetve a víz káros hiányával vagy többlettel szembeni védelmét, egyúttal a vizek állapotának mind minőségi, mind mennyiségi szempontú megóvását.

Kulcsszavak

Vízgazdálkodás, folyószabályozás, hajózás, árvízvédelem, belvízvédelem, vízrendezés, helyi vízkárelhárítás, vízrajz, vízminőség, monitoring.

Water management on the operational area of the South-Transdanubian Water Management Directorate

Abstract

The South-Transdanubian Water Management Directorate (STDWMD) is one of the twelve water management directorates, which altogether cover the whole territory of Hungary. The number of its employees and the responsibilities of the South-Transdanubian Water Management Directorate have changed significantly and several times since the establishment of the United Water Management Organization in the country in 1953, though the performance of water management related state administration tasks always remained the same. STDWMD is engaged in a very wide range of activities. Due to the involvement of the Danube and Drava Rivers, the Directorate deals (among other things) with flood protection, and on the low-lying areas with drainage control and flood damage protection. Due to the extremely dense network of watercourses in the STDWMD area, where watercourses often experience extremely high changes in water flow, STDWMD provides management of water courses, ensuring the maintenance of their drainage capacity, and participate in local water damage prevention. STDWMD meets the requirements of the EU Water Framework Directive, which provides the principles of achieving the “good status” of surface and groundwater bodies. For this purpose, STDWMD – as the property manager of state-owned water bodies and water resources – continuously and effortlessly monitors the quality and quantity of waters. This line could, of course, be continued for a long time, but what is essential and why it does all this is to simultaneously ensure that society's demand for water is met and it is protected from harmful water shortages or surpluses, while improving water quality, in order to ensure the balanced and long-term sustainable management of waters.

Keywords

Water management, river regulation, shipping, flood protection, inland water protection, water management, local water damage prevention, hydrography, water quality, monitoring.

A DÉL-DUNÁNTÚLI VÍZÜGYI IGAZGATÓSÁG ÁLTALÁNOS BEMUTATÁSA

Történeti áttekintés

A vízgazdálkodásnak – kezdetben elsősorban a vízszabályozásnak – az országos helyzethez hasonlóan térségünkbe is évszázados hagyományai vannak. A máig kiható jelentősebb vízszabályozások a reformkorra nyúlnak vissza, majd a XIX. század végi gazdasági fellendülés idején végzett vízimunkák nyomán alakultak ki főbb elemeiben a felszíni mederhálózatok és párhuzamosan az árvízvédelmi művek, illetve rendszerek.

Önálló vízügyi államigazgatás azonban nem létezett. A vízügyi feladatok 1948 előtt – a vízügyi szervezetek államosítását közvetlenül megelőzően – több szerv között oszlottak

meg. A feladatok egy részét állami vízügyi hivatalok – folyammérnöki és kultúrmérnöki hivatalok – más részét a megyei törvényhatóságok, valamint a vízitársulatok látták el.

A folyammérnöki hivatal feladatkörébe tartoztak az állami kezelés alatt álló, hajózható folyókon felmerülő műszaki teendők; a meder folyamatos nyilvántartása; a hajózási akadályok felkutatása, megjelölése és eltávolítása; a hajóút kitűzése; közreműködés kompok, révek, hidak vízjogi engedélyezésénél; részvétel a vontató utak kijelölésében, a szabad kikötés meghatározásának és a hajómalmok helyének megállapításának ügyeiben. Ide tartozott a hivatal hatáskörébe rendelt folyószakasz mellett lévő vízitársulatok elsőfokú felügyelete, amely feladatot a hivatal vezetője miniszteri megbízottként látott el.

A kultúrmérnöki hivatal működési területe, mint megyei törvényhatóság volt megállapítva. Feladatkörébe tartozott a folyammérnöki hivatal hatáskörén kívül eső folyókon, patakokon és egyéb vizeken az azok szabályozására és jókarban tartására vonatkozó ügyek intézése; a talajjavítással és vízhasználatokkal kapcsolatos műszaki feladatok végzése; szabályozási, kisajátítási, szolgalmi tervek, érdekeltségi kimutatások készítése és a munkálatok kivitelezése. A hivatalnak fontos szerepe volt a vízjogi törvény végrehajtásában, amennyiben a vízjogi engedélyezési ügyekben szakértői működést fejtett ki, helyszíni tárgyalásokon vett részt, előterjesztéseket készített az engedélyokirat szövegére a megyei törvényhatóság vezetője részére, és szakértőként működött a vízrendészeti ügyekben. Az érdekeltségek részére műszaki terveket készített és azok hitel-hozzájárulásaiból kivitelezte a munkákat. Ellenőrizte a működési területen folyó vízimunkálatokat, tanácsadó és ellenőrző tevékenységet látott el a megyei vízikönyv vezetésével kapcsolatban, és maga is vezetett vízikönyv-másolatot. A lecsapoló, patak-szabályozó és vízhasználati társulatok elsőfokú felügyeletét a hivatal vezetője látta el miniszteri megbízotti minőségben.

A megyei törvényhatóság az elsőfokú vízjogi engedélyező hatóság volt, amely a kultúrmérnöki hivatal szakértői közreműködése és előterjesztése alapján adta ki a vízjogi engedélyeket és ezen kívül ellátta a vízjogi törvény végrehajtásából eredő egyéb (például vízrendészeti) közgazgatási feladatokat.

A víztársulatok a vizek kártételeinek elhárítására, a víz hasznosítására az érdekeltekből alakult, állami felügyelet alatt működő, autonóm szervek voltak, amelyek munkálataik költségét főleg az érdekeltekre kivetett – és állami adók módjára behajtott – járulékokból, részben pedig államsegélyekből fedezték. Jelentősebb víztársulatok voltak:

- Balatoni Nagyberk Lecsapoló Társulat. Érdekeltségi területe 15 900 kh, székhelye Balatonfenyves volt. 1864-ben alakult meg, intenzív működését 1908-ban kezdte meg, 122 km hosszú csatornahálózattal rendelkezett.
- A Sárivölgyi Lecsapoló Társulat Balatonfenyves székhellyel működött, 1 500 kh érdekeltségi területen.
- A Kaposvízi Lecsapoló Társulat érdekeltségi területe 11 000 kh volt. A társulat már 1820-ban megkezdte működését, székhelye Dombóvár volt.
- A Mohács-darászi Ármentesítő Társulat 9 700 kh érdekeltségi területen Mohács székhellyel működött. 8 km töltés és 21 km csatorna tartozott a hatáskörébe. Megalakulásának éve 1880 volt.
- A Dázsony-dárdai Ármentesítő Társulat 16 500 kh érdekeltségi területen működött, székhelye Siklós volt. 14 km töltés és 37 km belvízcsatorna volt a területén.

A fenti jelentősebb társulatokon kívül még számos kisebb lecsapoló, patak-szabályozó és vízhasznosító társulat is működött a jelenlegi igazgatóság területén.

A vízügyek államosítása után (1948-1951 között) a felsorolt feladatokat előbb a Vízgazdálkodási Körzetek, majd további átszervezések után a Vízügyi Igazgatóságok vették át. Megjegyzendő, hogy a Vízügyi Igazgatóságok 1948-ban megteremtett egységes irányítása 1951-1953 között nem volt meg. Ebben az időszakban az igazgatóságok ké-

sőbbi feladatai megoszlottak az Árvízvédelmi és Folyam-szabályozási Hivatalok, valamint a Kultúrmérnöki és Belvízrendező Hivatalok között.

Végül a Minisztertanács a vízgazdálkodás állami irányításának megteremtése érdekében az 1060/1953. (IX. 30.) 4. sz. MT határozatával rendelte el az egységes vízügyi szervezet felállítását 1953. október 1-i hatállyal. A Minisztertanács közvetlen felügyelete alá tartozott az új főhatóság Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) elnevezéssel. Ezzel egy időben jöttek létre az OVF területi szervei, közte a Pécsi Vízügyi Igazgatóság is, induláskor 108 fő besorolt dolgozóval.

Az igazgatóságok működési területét a vízrajzi egységek, a vízrendszerek, tehát a vízgyűjtő határok és az állami közigazgatási egységek határainak együttes figyelembevételével alakították ki. Elnevezésük 1959-ig a jelenleg is azonos székhelyükhöz igazodott, míg 1959. július 1-i hatállyal a 33/1959. sz. OVF utasítás elnevezésüket a természetföldrajzi és vízgazdálkodási egységet alkotó területet kifejező – máig érvényes – elnevezésre változtatta, Igazgatóságunkat érintően „Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság”-ra. Az Igazgatóságokon megalakultak a területi szervek, a szakaszmérnökségek és a felügyelőségek is. Az igazgatóságok feladatai az alábbiak voltak:

- kezelésükbe tartozó vízgazdálkodási létesítmények üzemelése,
- ezzel összefüggésben vízépítőipari, termelési, tervezési munkák végzése,
- vízügyi államigazgatási ügyekben az I. fokú vízügyi hatósági feladatok ellátása,
- árvíz-, belvíz-, vízminőség-védelmi feladatok végzése, működési területükön elősegítve a lakossági és más – főként ipari, mezőgazdasági – vízigenyek kielégítését.

Az eltelt években az irányító felettes szerv elnevezése, hovatartozása és a Vízügyi Igazgatóságok feladatköre is többször változott, melyek közül a legfontosabb változások a következők voltak:

- 1988. július 1. – 1990. november 30. között környezetvédelmi és természetvédelmi feladatbővülés,
- 1990. december 1-től a környezetvédelmi és a természetvédelmi feladatkörök leválasztásra kerültek, sőt (a vízminőségi kárelhárításban való részvétel kivételével) a vízminőséggel összefüggő hatáskörök is átkerültek az akkor alapított Környezetvédelmi Felügyelőségre,
- a vízgazdálkodási társulatok állami törvényességi felügyelete a cégbíróságokra került,
- 1994-től (a Kft.-k alapítása révén) radikálisan csökkent a termelési tevékenység, jobbra csak a saját művekkel összefüggő feladatok végzésére korlátozódott,
- bizonyos hatósági feladatok több lépcsőben átkerültek az önkormányzatokhoz,
- új törvény (1995. évi LVII. törvény) született a vízgazdálkodásról, mely tovább bővítette a vízgazdálkodás állami irányításának társadalmi bázisát, mégpedig:
 - a 232/1996. (XII. 26.) Korm. rendelet az árvíz- és a belvízvédekezés területi bizottsági feladatait a védelmi bizottság hatáskörébe utalta, és a bizottság tagja lett az illetékes vízügyi igazgató,

- szintén törvényi felhatalmazás alapján, az 5/1998. (III. 11.) KHVM rendelet szerint, 1998. június 18-án megalakult a Dél-dunántúli Területi Vízgazdálkodási Tanács (TVT), amely feladatkörében elősegíti a vízgazdálkodás területi, szakmai feladatainak egységes és összehangolt végrehajtását.

Mindennek ellenére az alapításkor meghatározott vízgazdálkodási feladatok – a vízminőséget és a hatóságot érintő hatáskör kivételével - lényegében nem változtak.

Az Igazgatóság szervezeti felépítése, objektumai és létszáma az ellátott feladatok volumenéhez igazodott. A „csúcspot” valamikor az 1970-es években érte el, amikor a feladatokat 12 osztály, egy kirendeltség, két szakaszmérnökség és egy gépüzem látta el, összesen 1 400 fővel. A kirendeltséghez és a szakaszmérnökségekhez felügyelőségek és őrzárások, a gépüzemhez egy hajózási telep és egy kőbánya is tartozott. A termelés leépítésével, feladatok elkerülésével a létszám és az eszközállomány jelentősen lecsökkent. Jelenleg a feladatokat összesen 222 fő közalkalmazott látja el.

A működési terület

A Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (DDVIZIG) mintegy 9 590 km² kiterjedésű működési területének nagy része Baranya és Somogy, kisebb része Tolna megyében található (1. ábra). Központja Pécssett a Köztársaság tér 7. szám alatt működik (1. fénykép).



1. ábra. A DDVIZIG működési területe és egységei
Figure 1. Operational area and units of the DDVIZIG



1. fénykép. A DDVIZIG központja Pécs városában
Photo 1. Headquarter of the DDVIZIG in the city of Pécs

A működési területet két jelentős folyó, a Duna és a Dráva, valamint a Balaton határolja. A Duna folyam és medre az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság működési területéhez tartozik, ugyanez a helyzet a Balaton és a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság esetében. A Dráva teljes, a nyilvántartás szerint 136,8 km hosszú magyar szakasza az Igazgatóság kezelésében, működési területének déli határán található. A vízfolyáshálózat sűrűsége 1,17 km/km², ami az országos átlag többszöröse. Az Igazgatóság kezelésében lévő vízfolyások hossza több mint 3 000 km. Természetes állóvizek a Dráva és Duna menti lefűződött holtágak, valamint a Rinya vízgyűjtőjén kialakult lefolyástalan területek időszakos vízfoltjai (pl. Balátató). Különösen elterjedt vízhasznosítási forma a 600-at is meghaladó számú mesterséges tó, illetve tórendszer, többnyire völgyzárógátas kialakítással. Felszín alatti víz változatos típusokkal (talaj-, réteg-, karszt-, termál-, gyógy-, parti szűrősű) van jelen a területen, jelentős készlettel. A Dráva menti rétegvíz készletek nagyobb mennyiségben távlati célokat is szolgálhatnak.

A szervezet napjainkban

Az Igazgatóság költségvetésből gazdálkodó szervezet, melynek közalkalmazotti létszáma 222 fő (2020. januári adat). Ez a legalacsonyabb létszám az igazgatóságok között, ami az üzemeltetett műszaki létesítmények viszonylag kis számával függ össze. Ugyanakkor a működési terület nagy mérete, a települések sokasága, és ezáltal a vízjogi engedélyek nagy száma a létszámon belül a diplomás műszakiak magas arányát idézte elő. A közelmúltban megnövekedett létszám a vizitársulatoktól átvett jelentős mennyiségű meder és szivattyútelep működtetésének köszönhető.

A DDVIZIG területi egységei (1. ábra): Pécsi Szakaszmérnökség (ezen belül: Pécsi Felügyelőség, Sási Felügyelőség, Villányi Felügyelőség, Drávasztári Felügyelőség) és a Kaposvári Szakaszmérnökség (Kaposvári Felügyelőség, Balatonörszödi Felügyelőség, Fonyódi Felügyelőség, Nagyatádi Felügyelőség, Barcsi Felügyelőség, Barcsi Hajózási Egység). A szakaszmérnökségek kisebb eltérésektől eltekintve egy-egy megyét fednek le.

A szakaszmérnökség élén a szakaszmérnök áll, aki önállóan és egyéni felelősséggel irányítja a szervezet tevékenységét. A felügyelőségek – melyek a szakaszmérnökség területi egységei – a szakaszmérnök irányítása mellett tevékenykednek. A Pécsi Szakaszmérnökség létszáma 69, a Kaposvári Szakaszmérnökség létszáma 60 fő.

A szakaszmérnökségek fő tevékenységei közé tartozik a vízfolyások fenntartása, kaszálási feladatok ellátása, mely által a vízfolyások lefolyási képessége javul, valamint szükség szerint kotrási-, illetve gyökérszórás iszapoltási feladatok elvégzése, az árvízvédekezésben-, helyi vízkárelhárításban való részvétel. A fenntartás mellett a közfoglalkoztatás koordinálását, munkaszervezését, ellenőrzését és az adminisztrációt is a szakaszmérnökségek végzik.

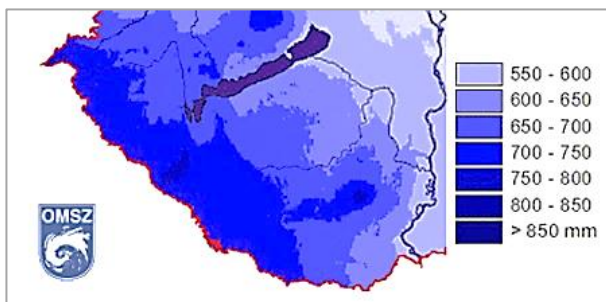
Igazgatóságunk folyamatosan fejleszti a feladatok ellátásához nélkülözhetetlen fenntartógepeit, az elavult, elhasznált gépek cseréjét, elsősorban pályázati forrásokból megvalósítva. Így az évek során a géppark jelentősen korszerűsödött. 2015-ben KEOP forrásból, 2020-ban ön-

tőzéshez kapcsolódó fenntartási forrásból kerültek beszerzésre traktorok, kotrók, szivattyúk, nádvágók, univerzális fenntartógépek.

TERMÉSZETI ADOTTSÁGOK

Éghajlat

A Dél-Dunántúl éghajlatában mind az óceáni, mind a mediterrán klíma jellemzői előfordulnak. Az éves átlagos középhőmérséklet a magyarországi átlagnak megfelelő, 10-11 °C. Somogy megye bizonyos részein ennél kicsit alacsonyabb, illetve a Mecsek magasabb részein mindössze 7-8 °C. Az évi csapadékeloszlás már változatosabb képet mutat, mind térben mind időben, nyugatról keleti irányban haladva az éves csapadékmennyiség általában csökken. Nyugaton körülbelül 700-750 mm, míg keletre ennél kevesebb, mintegy 600-650 mm csapadék hullik le egy átlagos csapadékú év során. A Mecsek bizonyos részein az éves átlagcsapadék meghaladja a 800 mm-t (2. ábra).



2. ábra. Átlagos éves csapadékösszeg
Figure 2. Average annual precipitation

Domborzat

A Dél-Dunántúl területe túlnyomórészt dombvidéki, kisebb mértékben hegyvidéki és síkvidéki részekből áll. Kiemelhető tájegységei a Dunántúli-dombság (Balatoni-medence egy része, Belső-Somogy, Külső-Somogy egy része, Baranyai-dombság) a Drávamenti-síkság, a Mecsek és a Villányi-hegység.

A Dunántúli-dombság része a Somogyi- és a Baranyai-dombság, amely változékony adottságú területekből, 110-150 mBf közötti magasságú medencékből és 180-200 mBf magasságú csúcsokból áll.

A Drávamenti-síkság 96 és 110 mBf magasságú tökéletes síkság (Dövényi 2010). Az ártéri síkságot futóhomokkal fedett enyhén hullámos síksági részekkel tagolt, alacsony, ármentes síkság övezi. Jellemző formák az elhagyott meanderek.

A Mecsek-hegység gyűrve-tört röghegység, melynek legmagasabb pontja a Zengő, amely Pécestől északkeleti irányban található és 682 mBf a magassága. A Villányi-hegység két legmagasabb csúcsa a 442 mBf magasságú Szársomlyó és a Tenkes (400 mBf). A Dráva menti síkságból kiemelkedő karsztosodott mészkő és dolomit tömbök a tektonikai mozgások miatt összetöredezettek.

Földtani adottságok

A DDVIZIG működési területének mélyszerkezeti képet igen változatos, nagy magasságkülönbségű térszínnek

jellemzik. Területén halad keresztül a közép-magyarországi főszerkezeti vonal, mely két nagyobb, különböző történetű, genetikájú és felépítésű lemez tömböt választ el egymástól (Budai és Konrád 2011).

Somogy és Baranya megye legidősebb képződményei a kristályos szilur palasorozat (agyaggala, kvarcfillit, csillámpala), granodiorit és egyéb gránitos kőzettípusok. Eocén korú képződmények szórványosan fordulnak elő, jellemző képviselői a mészkő, márga, agyag, andezittufa és egyéb tufás rétegek. A legidősebb korú paleozoikumi magmás, metamorf és üledékes kőzetek, illetve mezozoos üledékes kőzetek után a miocén és pannóniai korú, tengeri üledékek következnek, melyet jelentős vastagságú, pleisztocén kori üledéktakaró fed.

A Dél-Dunántúl hidrogeológiai szempontból jelentős felszín alatti vízkészletek tárolására tökéletesen alkalmas rétegek (pannon korú homok rétegek) képződését a Kárpátok hegyláncának miocén során kezdődött kiemelkedése és a lepusztulási területekről lehordódott finomszemcsés törmelék medencébe való beszállítódása és lerakódása eredményezte.

TÁRSADALMI, GAZDASÁGI KÖRNYEZET

Településszerkezet

A DDVIZIG működési területén az aprófalvak és kis-települések nagy aránya jellemző. A működési területen található 529 településből két település megyeszékhely, megyei jogú város és további 28 helyiség jogállása város. A régió városai között a 25 000 lakos szám alatti kisvárosok dominálnak, jellemző a középvárosok hiánya. A működési területen mindössze 73 kis- és nagyfalu található, melyek lakosszáma 1 000 fő feletti. A lakosság 80,5 %-a (426 település) 1 000 lakosság alatti aprófalvakban él. Az aprófalvak közül 142 település 200 főnél kisebb lakosszámmal rendelkezik.

Területhasználat

A DDVIZIG működési területe mintegy 9 590 km². A működési terület legnagyobb részét agrárterületek alkotják, ezután következnek a különféle erdők által borított területek, majd a mesterséges felszínek, a gyepterületek és egyéb lágyszárú növényzettel borított területek, végül a vízes élőhelyek és a felszíni vizek.

Gazdaság

A Dél-dunántúli Régióban a gyártó-, illetve feldolgozóipari tevékenységet folytató üzemek közül a legnagyobb vízfelhasználó az élelmiszeripar, kb. 80 %-os arányban.

Az élelmiszeripari feldolgozó üzemek között szerepel cukor- és konzervgyár, húsfeldolgozó és tejipari üzem. Legnagyobb vízhasználók (sorrendben) a Kaposvári Cukorgyár, a Szigetvári Konzervgyár, a Kométa 99 Kft. Kaposvári Húsüzeme, a Mohács MCS Vágóhíd, a Kaposvári Tejüzem és a Pécsi Sörgyár.

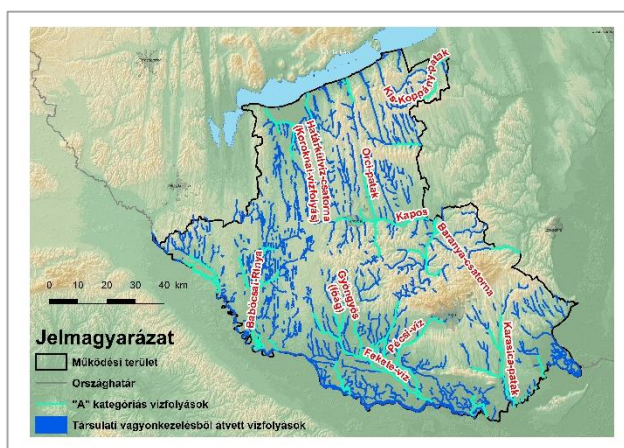
A legnagyobb vízfelhasználókat tekintve a nem élelmiszeripari tevékenységet folytatók, a könnyűiparon belül a textilipar (nagyatádi cérnagyár), a nehéziparon belül az építőanyag-ipar, a mohácsi farostlemez gyár, a cementgyártás, valamint a pécsi hőerőmű.

A DÉL-DUNÁNTÚL VÍZGAZDÁLKODÁSA

Területi vízgazdálkodás

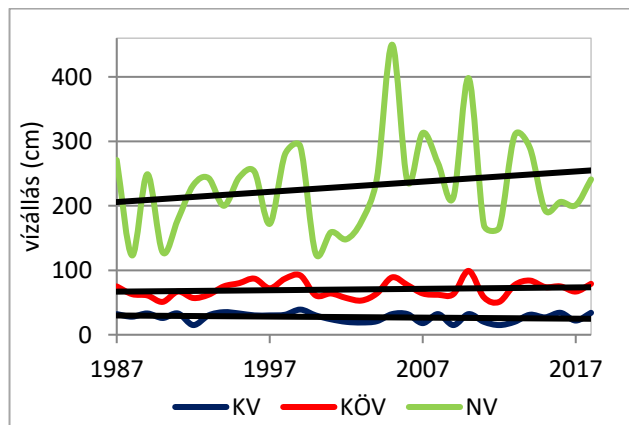
Dombvidéki vízrendszerek, helyi vízkárelhárítás

A DDVIZIG működési területének több mint 90%-a dombvidéki jellegű, míg a dombcsúkok mellett a Mecsek- és a Villányi-hegység is a terület része. Az 529 településből 502 helyezkedik el dombvidéki vízgyűjtőn, a dombvidéki vízfolyások hossza több mint 3 000 km, ebből a kizárólagos állami tulajdonú vízfolyások hossza 651 km. Az Igazgatóság vagyonkezelésében levő dombvidéki vízfolyások jelentős részét a 2014. évben a társulati vagyonkezelésből átvett, az ábrán pirossal jelölt nevű vízfolyások, illetve vízfolyás szakaszok alkotják (3. ábra).



3. ábra. A DDVIZIG kezelésében lévő vízfolyások
Figure 3. Water courses managed by the DDVIZIG

Az alapvetően dombvidéki jellegű működési terület egyik legnagyobb vízrendszere a Kapos vízfolyás 3 257 km² vízgyűjtő területéből 1 950 km² tartozik az Igazgatósághoz. A vízgyűjtő a működési terület közepén helyezkedik el, rajta minden lefolyási sajátosság megtalálható: a mecseki domb-, illetve hegyvidéki jellegű villámárvizeket generáló heves árhullámtól a somogyi síkterületek lassú összegyülekezéséig. A kisvízfolyásokon a nagyvizek előfordulási gyakorisága megnövekedett, míg a középvízi és a kisvízi tendencia nem változott vagy egy kisebb mértékben csökkent. Ezt a Kapos Kaposvár, Fészerlak-i mérőhelye alapján mutatjuk be, mely 1986-ban létesült (4. ábra). A szélsőséges jelenségek (árvíz, aszály) gyakorisága nőtt.



4. ábra. A Kapos vízfolyás éves vízállás jellemzői
1987-2018 között (Kaposvár, Fészerlak)
Figure 4. Annual water level characteristics of
River Kapos between 1987-2018 (Kaposvár, Fészerlak)

A vízfolyások mederrendezési munkálatai a korábbi időkben elsődlegesen kárelhárítási szempontból (egyenes mederszakaszok, trapéz szelvény, állandó esés, gyors vízlevezetés) kerültek végrehajtásra (2. fénykép). Az utóbbi években – különös tekintettel a EU Víz Keretirányelv szempontjaira – a kárelhárítás és fenntartás szempontjai mellett előtérbe került a természeti igényeket figyelembe vevő mederrendezés, pl. az egyoldali mederfenntartás (3. fénykép).



2. fénykép. Hagyományos kialakítású vízfolyás meder
az Egyesült-Gyöngyösön

Photo 2. Traditionally shaped river bed of Egyesült-Gyöngyös



3. fénykép. Egyoldali fenntartású meder a Mároki-vízfolyáson
Photo 3. One-side maintained river bed of Mároki watercourse

A domb- és hegyvidéki területek túlsúlya miatt azonban továbbra is kiemelt figyelmet kell fordítani a villámárvizek elleni védelemre, a belterületi vízrendezés és általában a helyi vízkárelhárítás célú fejlesztésekre, műszaki megoldásokra. Ezt a feladatot az Igazgatóság domborzati adottságaiból fakadóan és sok évtizedes hagyományaihoz híven árvízcsúcs-csökkentő tározókkal oldja meg. Ilyen tározó épült 2015-ben Kaposvár védelmére a Kaposon (Kapos vésztározó, 1,689 millió m³ árvíz tározási kapacitás) és 2019-ben Magyarországnál a Baranya-csatornán (Barátúrtó, 880 ezer m³ kapacitás) a Mecsekről lerohanó árhullámok mérséklésére. Az előbbieken túl Igazgatóságunk területén Kásád térségében épült még hasonló tározó 1990-ben, ahol nem csak a Tapolca patak árvizeinek, hanem a térség belvizeinek káros többletvizeit is képesek vagyunk betározni (Zalogospusztai árvízi tározó rendszer, 1,048 millió m³ kapacitás). Ahol a körülmények lehetővé teszik,

az egyéb hasznosítási célú víz visszatartására is alkalmas megoldás élvez előnyt, mint az előbbi Barátúri tónak nevezett beruházásnál (4. fénykép). Területünkön rengeteg állóvíz található, azok pedig természetükből fakadóan egytől egyig képesek valamilyen szintű árhullám betározására, attól függetlenül, hogy funkciójukat és hasznosításukat tekintve más és más az elsődleges szempont. Igazgatóságunk több vízgyűjtőre már rendelkezik előkészítő műszaki tanulmánnyal (pl. Baranya-csatorna, Völgysegi patak és a közeljövőben Zselic patak), amely az egész vízrendszer szélsőséges vízmérlegét igyekszik majd tározókkal kiegyensúlyozottabbá tenni.



4. fénykép. A Barátúri tó vízfelülete
Photo 4. Water surface of Lake Barátúri

Az elmúlt évek közül a 2010. év emelhető ki a helyi vízkárelhárítás szempontjából. Két-három hetes különbséggel egymást követő ciklontevékenységből, területi átlagban több mint 200 mm csapadék hullott le a Dél-Dunántúlon, mely több kisvízfolyáson okozott jelentős árhullámot. A két ciklon számított együttes visszatérési ideje 400 év volt. Ebben az időszakban rendkívüli árhullám vonult le valamennyi vízfolyáson. A beavatkozások elsősorban homokzsákos védekezések voltak a depóniákon és a műtárgyaknál, valamint az elöntött területek mentesítése történt meg mobil szivattyúk segítségével. De jellemzően nem a vízfolyások öntöttek ki, hanem a magas vízállás miatt a terepről nem tudott lefolyni a rendkívüli csapadékból származó víz, és ezért hatalmas területek maradtak víz alatt.

Az szakágazat számára egyre inkább előtérbe kerül az aszálykezelés kérdése. A DDVIZIG területén az öntözés és egyéb vízpótlással kapcsolatos vízgazdálkodási feladatok eddig nem voltak jellemzőek. A felszíni vizeket érintő vízhasznosítás elsősorban csak a halastavak létesítését jelentette. A stratégiai kérdéssé vált mezőgazdasági öntözés (és az öntözés lehetőségének kialakítása) a szakág számára a közeljövő fejlesztési elképzeléseit is meghatározza. Az Igazgatóság öntözési stratégiájának elkészítése folyamatban van. Megoldás lehet olyan műszaki megoldások és pályázatok keresése, melyek révén a dombvidéki vízfolyások még rendelkezésre álló szabad vízkészleteinek hasznosítása öntözési célra is megtörténhet. Erre megoldásnak kínálkozik a meglévő dombvidéki tározóépítéssel kapcsolatos tervek öntözési fejlesztésekhez kapcsolása.

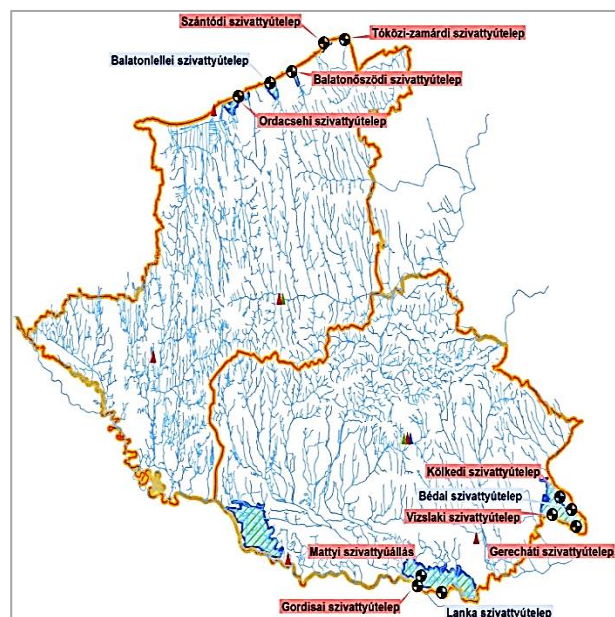
Napjainkban folyik a térség legjelentősebb vízgazdálkodási fejlesztésének megvalósítása a Dráva síkságon lévő Ormánság területén. Az úgynevezett Ős-Dráva Program jellemzője a drávai vízkivétel és a meglévő vízvezető rendszer felhasználásán alapuló vízpótló rendszer. Elsődleges funkciója a terület természeti értékeinek megmentése, vizes élőhelyek rekonstrukciója, és általában a súlylyedő talajvízszint miatt kiszáradó vidék revitalizációja. Hosszabb távon a rendszer kettős működésű csatornái a térség öntözési igényeit is szolgálhatják.

Egyéb irányú fejlesztések várhatóak a Balaton déli parti kisvízfolyásai védképességének növelésére. A Balatonba torkolló kisvízfolyások medreit a Balaton új üzemeltetési szintjéhez igazodva szükséges átalakítani, csökkentve a helyi vízkárok kialakulásának kockázatát. A vízrendezési munkák várhatóan KEHOP forrásból kezdődnek meg a közeljövőben.

Az egység adatbázisainak térinformatikai fejlesztése is kijelölt cél. A térinformatika nyújtotta korszerűsítési lehetőségek által a működési terület vízfolyás hálózatának adatbázisa teljessé válik.

Síkvidéki vízrendszerek, belvízvédelem

Az Igazgatóság három belvízvédelmi szakaszt működtet, úgymint Dráva-mentit, Duna-mentit és a Dél-balatonit. A három belvízvédelmi szakaszon 12 kiépített belvízvédelmi szivattyútelep van (5. ábra), melyeknek összes kapacitása 15,4 m³/s. Ezek a Dráva és a Duna mellett, valamint a Balaton déli partján helyezkednek el. A Dráva és Duna melletti szivattyútelepek jellemzően árvíz idején emelik a folyóba a belvizeket. A Balaton déli partján a Balaton vízszintjéhez képest mélyebben fekvő területekről emelik a szivattyúk a többletvizeket a Balatonba. A nagyobb vízgyűjtővel rendelkező déli parton lévő vízfolyások un. függőmederrel történő átvezetéssel – terepszint felett - jutnak gravitációsan a Balatonba, „kikerülve” ezáltal a belvízi átemelést.



5. ábra. A DDVIZIG belvízvédelmi művei
Figure 5. Drainage structures of the DDVIZIG

A belvízrendszerek a folyók mentén az árvízvédelmi töltések kiépítéséhez kapcsolódnak. A Duna mentén az 1800-as évek elején kiépült töltések mentett oldalán először a Kölkedi szivattyútelep épült 1901-ben. A többi szivattyútelep fokozatosan épült ki a szivattyúzási igények megjelenésével.

A kizárólagos állami tulajdonú belvízvédelmi csatornák hossza 56,3 km. A DDVIZIG vagyonkezelésében levő csatornák hossza összesen 242,3 km. A társulatoktól átvett leromlott állapotú szivattyútelepek folyamatban lévő rekonstrukciója által a belvízvédelmi művek kellő biztonságot jelentenek az öblözetekben.

Igazgatóságunkon a síkvidéki rendszerek aránya csekély, így a belvízvédekezés volumene is kisebb az alföldi rendszerekhez képest. Rendkívüli belvízvédekezés sem volt még igazgatóságunk történetében.

Vízitársulatok megszűnése

A DDVIZIG működési területén az első vízitársulat 1820-ban alakult meg. 2014-ig 12 vízitársulat működött. 2014. január elejét követően a vízgazdálkodási társulatok kezelésében, üzemeltetésében lévő állami tulajdonú vizek, vízállásirányítók az illetékes vízügyi igazgatóság kezelésébe kerültek. A társulatoktól a DDVIZIG vagyonkezelésébe került 2 990 hektár és vízállásirányítót tartalmazó ingatlan, 2 684 km hosszban csatorna és kisvízfolyás, illetve 9 szivattyútelep. Így a korábban a DDVIZIG vagyonkezelésében levő 723 km hosszúságú csatornákkal és vízfolyásokkal együtt az Igazgatóság jelenleg összesen 3 450 km mederszakasz vagyongazdálkodási, üzemeltetői feladatait látja el.

A jogszabály életbe lépését követően kilenc vízitársulat a rendelkezésre álló forrásai felhasználásával a végelszámolással történő megszüntetést választotta. Egy vízitársulat források hiányában felszámolásra került, két vízitársulat jelenleg is működőképes. Ez utóbbiak a Balaton-Nagyberek Vízitársulat, illetve a Kaposvölgyi Vízitársulat.

Folyógazdálkodás és árvízvédelem

A Dráva a Duna negyedik legnagyobb hozamú és negyedik leghosszabb mellékfolyója. A déli Alpokban ered Olaszország területén, majd Ausztrián, Szlovénián, Horvátországon, Magyarországon és ismét Horvátországon keresztül éri el a dunai torkolatát Eszék alatt, Aljmás település közelében. A Dráva főbb mellékvízfolyásai a Mura, a Gurk, az Isel és a Möll. Teljes vízgyűjtő terület nagysága 43 238 km², melyből Magyarország 8 431,4 km²-rel részesül. A Dráva teljes hossza 710 km, vízgyűjtő területén mért éves átlagos csapadék mennyisége 990 mm. A Dráva magyarországi szakaszának felső szelvénye Őrtilosnál, a Mura torkolatánál, a 236,000 fkm-ben található. A folyó itt lép be Magyarországra és két szakasztól eltekintve (227,600 – 198,600 fkm és 70,200 – 0,000 fkm) a magyar-horvát országhatár mentén „meanderezik”. Ez a 236,000 km-es szakasz teljes egészében az úgynevezett magyar-horvát közös érdekeltségbe tartozik.

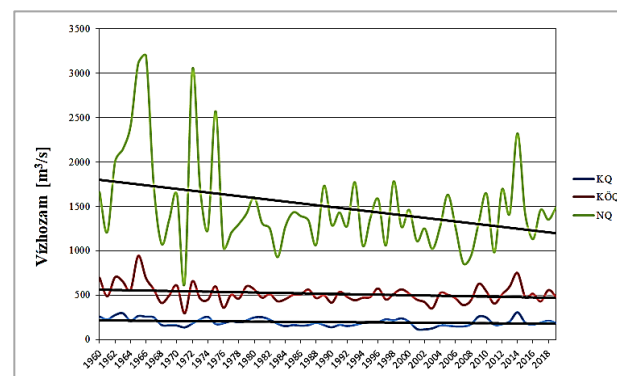
A Dráva folyógazdálkodási szempontból sajátosság helyzetben van. Magyar-horvát határfolyó révén a múlt században gyakorlatilag „megközelíthetetlen” volt. Ebből kifolyólag legfőképpen csak a vízügyi ágazat érdekei érvényesültek a folyó mentén. Az akkori folyógazdálkodás

egyenértékű volt a folyószabályozással, ennek megfelelően épültek a kis-, közép- és nagyvízi szabályozások. Ezek Barcs, azaz a 155,000 fkm alatt szinte teljesen kiépültek, e felett csak részben. A folyó ma ennek megfelelően éli életét: a felső szakaszon Őrtilosig nagyobb lehetősége van meanderezni, míg Barcs alatt ez a lehetősége megszűnt.

A mintegy 200 éves múltra visszatekintő szabályozási tevékenységnek, a mederanyag eltávolításnak és a Horvátországban, Szlovéniában és Ausztriában megépült 22 erőműnek köszönhetően a Dráva medre folyamatosan mélyül (*Burián és társai 2019, VITUKI 2003*). Vizsgálatok mutatták ki, hogy bár az egyes szelvényekben ez az érték eltérő, a magyar-horvát közös érdekeltségű szakaszon ennek értéke átlagosan 3 cm/év. A medermélyülés mellett a napi ciklikus vízállásváltozás is jól kimutatható a magyar-horvát közös érdekeltségű szakaszon. A múlt század 70-es és 80-as éveiben épült horvát vízierőművek a folyó „felső”, Barcs feletti szakaszán kimutathatóan megváltoztatják a folyó vízjárását. Őrtilosnál legfőképp a legalsó Dubravai vízierőmű közelsége (18 km) és csúcsra járatása miatt nem ritka a napi 80-120 cm-es vízállás ingadozás, míg ez az érték Barcsnál mintegy 40-50 cm. A Barcs alatti szakaszon már csak kisebb mértékben észlelhető, azonban vizsgálataink szerint a vízállásváltozás a drávaszabolcsi állomásra vonatkozóan is kimutatható (*Burián és társai 2019, Burián és Domány 2019*).

A vízállapotok közül a Dráva mennyiségi és minőségi állapotának nyomon követése igen fontos tevékenységi kör az Igazgatóságon. Nemzetközi folyóként 1955-től Magyar-Jugoszláv, majd 1994-től Magyar-Horvát Vízgazdálkodási Bizottság keretében számos határvízi feladatot kell megoldanunk. A Magyar Köztársaság Kormánya és a Horvát Köztársaság Kormánya között Pécsett, 1994. július 10-én aláírt, a vízgazdálkodási együttműködés kérdéseiről szóló egyezmény kihirdetéséről a 127/1996. (VII. 25.) Korm. rendelet rendelkezik. A rendeletben megfogalmazottak szerint működő Állandó Magyar-Horvát Vízgazdálkodási Bizottság Vízminőségi Albizottsága vizsgálja a folyó vízminőségét, a hidrológiai szakcsoportja pedig a vizek mennyiségét.

Mennyiségi oldalról elmondható, hogy mind a kisvízi, mind a középvízi tartományban a vízhozamok trendje nem változik, a nagyvízi tartományban azonban kismértékű csökkenés tapasztalható (6. ábra).



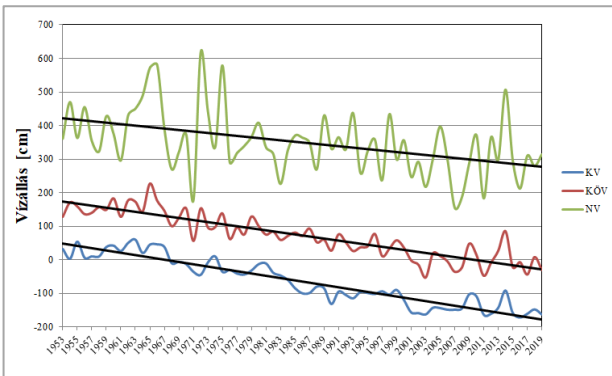
6. ábra. Éves vízhozam jellemzők a Dráva barcsi szelvényében 1953-2019 között

(Jelmagyarázat: kék vonal = KQ, piros vonal = KÖQ, zöld vonal = NQ)

Figure 6. Annual discharge characteristics of river Drava in section Barcs between 1953-2019

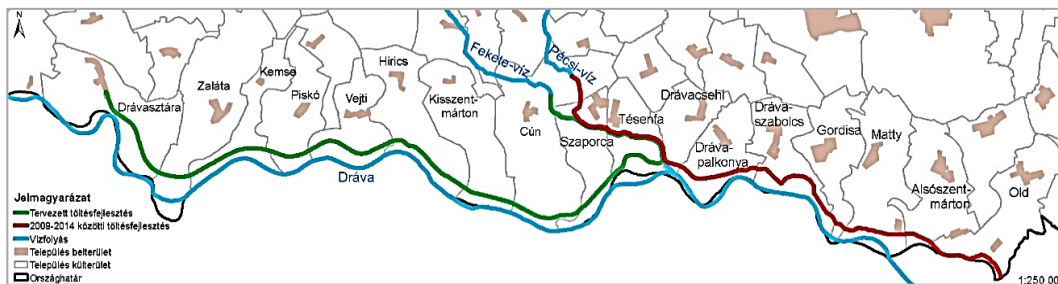
(Legend: blue line = low flow, red line = middle flow, green line = high flow)

A vízállások trendjében azonban a nagyvízi tartomány mellett már a közép- és kisvízi tartományban is csökkenő tendencia mutatható ki (7. ábra), mely egyik egyértelmű jele a medersüllyedésnek (Burián és társai 2019, VITUKI 2003).



7. ábra. Éves vízállás jellemzők a Dráva barcsi szelvényében 1953-2019 között cm-ben

(Jelmagyarázat: kék vonal = KV, piros vonal = KÖV, zöld vonal = NV)
Figure 7. Annual water level in cm, characteristics of River Drava in section Barcs between 1953-2019
(Legend: blue line = low water level, red line = middle water level, green line = high water level)



8. ábra. Árvízvédelmi töltés a Dráva bal oldalán, magyar területen
Figure 8. Flood protection dyke on the left side of River Dráva on the Hungarian territory

Az árvízvédelmi töltések annak ellenére, hogy teljes egészében kiépültek, magassági értelemben a jelenlegi előírásoknak mégsem felelnek meg a Kémes-Drávasztára közötti szakaszon. A MÁSZ értékek a legutóbbi, 2014-ben végzett számítások szerint (a folyók mértékadó árvízszintjeiről szóló 74/2014. BM rendelet) a töltéssel rendelkező szakaszon nem változtak a korábbihoz képest, mégis átlagosan 60 cm magassági hiány van ezen a Kémes-Drávasztára közötti 36 km-es szakaszon. Ennek oka, hogy a múlt században Jugoszláviával közösen tervezett négy vízierőmű nem épült meg az Eszék-Órtilos közötti szakaszon, így árhullám csökkentő hatásuk elmaradása miatt a kiépítettség magassága ma nem felel meg az előírásoknak.

Az Igazgatóság a Dráva bal parti árvízvédelmi rendszer nem kellően kiépített szakasza védképességének növelése érdekében több olyan beruházási elemet tervez végrehajtani, mellyel az árvízi védekezés hatékonysága javul. A pályázat megvalósításának 2020-ban tervezett kezdéséhez a természetvédelmi és környezetvédelmi hozzájárulás és a tervezett munkákhoz szükséges vízjogi engedély megszerzése folyamatban van. A beruházás megvalósulásával az Igazgatóság összes árvédelmi vonala meg fog felelni a műszaki és jogi előírásoknak.

Az Igazgatóság működési területének egyik érdekessége, hogy bár Duna folyóval nem rendelkezik, árvízvédelmi védvonal mégis húzódik a folyó jobb oldalán a déli országhatár és Mohács között. Az összesen 19,865 km hosz-

A vízállás észlelések során ez idáig mért legkisebb vízállás -172 cm (2016.01.04.), legnagyobb vízállás 618 cm (1972.07.19.) és közepes vízállás 72 cm.

A Víz Keretirányelvvel összhangban a horvát Féllel közösen végzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a Dráva jó és kiváló vízminőséget mutat, amelyben az elmúlt időszakban csak csekély változás történt. Változás egyedül a bakteriológia területén mutatható ki, ugyanis a szennyvízkezelés területén bekövetkezett eredmények hatására ezen paraméterek jelentősen javultak.

A nagyvízi szabályozás keretében a folyó bal, „magyarországi” oldalán kiépültek az árvízvédelmi töltések a déli országhatártól Tótújfaluig, összesen 74,095 km-en, melyhez kapcsolódnak még a Fekete-víz és a Pécsi-víz úgynevezett visszatöltésezett szakaszai 13,196 km-el (8. ábra). A beruházások jelentős része az 1972-es történelmi árvíz után valósult meg. A Dráva bal oldali árvízvédelmi rendszerei 35 településen mintegy 31 000 lakost védenek a Dráva árvizétől. A három árvízi öblözet nagysága 295,41 km², melyek közül a legalsó, Drávaszabolcsi öblözet Horvátország területére is átnyúlik.

szú dunai védvonalból 1,515 km árvízvédelmi fal (5. fénykép), a védvonal teljes hosszban kellő biztonsággal kiépített. A kiépítések jelentős része az 1956-os és 1965-ös történelmi árvizek után valósultak meg, melyek közül az 1956-os jeges ár nagy károkat okozott. A védelmi rendszer összesen három települést véd a Duna árveitől (Erdőfű, Köld és Mohács), valamint külterületi érintettsége van még Sátorhely településnek. A mohácsi öblözet magyar területének nagysága 53 km², mely szintén átnyúlik Horvátországba. Feljebb haladva a folyón az úgynevezett nyílt ártér részen, a három érintett település közül (Mohács É-i településrész, Bár, Dunaszekcső) Dunaszekcső a legveszélyeztetettebb. Itt egy mohácsi II. fokú árvízvédelmi készülségnél már meg kell kezdeni az árvízvédelmi munkákat.



5. fénykép. A Lampl Hugó díjas mohácsi árvízvédelmi fal
Photo 5. The Lampl Hugó award-winning flood protection wall in Mohács

Hajózás

Hajózási szempontból nagyon kedvező a Dráva ki-egyenlített vízjárása, mely az alpi gleccsereknek és az óceáni hatásnak köszönhető. A drávai hajózás igazolhatóan több mint 200 évre tekint vissza, hiszen az első, Carolina nevű drávai gőzhajót Sellyén építették 1816-ban. Ezt követően hol intenzívebb, hol kisebb mértékben folyt hajózás a folyón, a gabona szállítása mellett főleg fa szállítása történt. Napjainkban elsősorban kedvtelési sétahajózás és horgász turizmussal egybekötött vízi szállítás történik csekély mértékben.

A drávai hajóút teljes hossza 198,6 km, mely a torkollattól Vízvár térségéig tart. A magyarországi szakasz II. osztályú, ennek megfelelően csak nappali viszonyok között hajózható a folyó. Az éves tartósság mértéke általában elmarad az előírtaktól, Drávaszabolcs térségében magasabb, Barcs térségében alacsonyabb az éves hajózható napok száma. A jelenlegi hajózási kisvízszint értékeknél (Drávaszabolcs +110 cm, Barcs + 40 cm) a szükséges mélységek rendelkezésre állnak a biztonságos hajózáshoz.

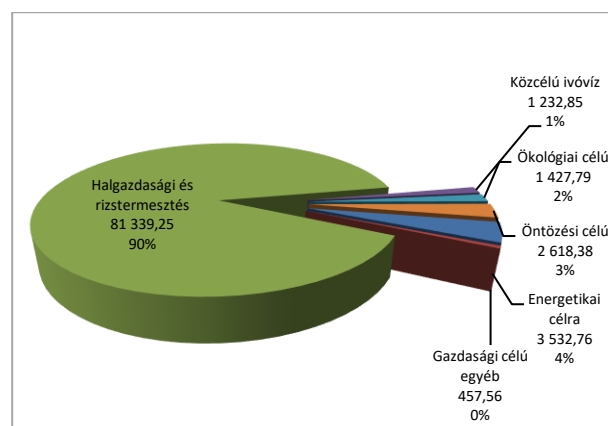
Vízkezelés-gazdálkodás

Felszíni vizek

A Dél-Dunántúl, mint nagyrészt dombvidéki és a nagy befogadók (Duna, Dráva, Balaton) vízválasztóján elhelyezkedő terület vízgazdálkodási szempontból eltér az ország nagyobb részére jellemző „alvízi medence jellegtől”. A helyben keletkező vízkészletek több nagyságrenddel kisebbek, mint a határ menti folyókban található készletek, ami a terület belsejére koncentrálódó vízigények kielégítését jelentősen megnehezíti.

A felszíni vízkészlet túlnyomó többségét a terület déli és keleti határán folyó Dráva és Duna adja. Bár a Balaton déli parti jelentősebb vízfolyásai a tó éves vízkészletének 15-25 %-át adják, a Balaton feszített nyári vízmérlege miatt ennek a vízkészletnek a hasznosítása erősen korlátozott. Az Igazgatóság működési területén a kisvízfolyásokkal együtt a hasznosítható vízhozam mintegy 950 m³/s-ra tehető, ebből a kisvízfolyások a bevezetett használt vízzel együtt kb. 7,6 m³/s-mal részesednek. A vízigények és vízkészletek kedvezőtlen területi elhelyezkedése miatt a lekötött 2,6 m³/s vízkészlet az ökológiai céllal a mederben hagyandó vízhozammal együtt a kisvízfolyások mértékadó készletét nagyrészt kimerítette. Mindezek miatt új, érdemi vízhasználatokra csak a Dráva és a Duna mellett van lehetőség, a működési terület belső részein csak tározóval biztosítható jelentősebb felhasználható vízkészlet. A vízrendszerek túlzott leterhelését elkerülendő, az Igazgatóság kifejlesztett egy vízmérleg készítő és nyilvántartó térinformatikai alapokon működő információs rendszert. Ennek a Dél-dunántúli Vízügyi Információs rendszernek (DDVIR) segítségével készít részletes vízmérleg vizsgálatokat az engedélyezéseket megelőzően a vagyonezerkezői hozzájárulások kiadásakor. Ugyancsak a rendelkezésre álló, még szabad vízkészletek meghatározása és minél hatékonyabb felhasználása érdekében indult el az Igazgatóság két (a Karasica és a Fekete-víz) vízgyűjtőjén is a vízkészlet-gazdálkodási modellezési munka, melynek hosszú távú célja, hogy megteremtse a dinamikus vízkészlet-gazdálkodás alapját, a modellek segítségével valós idejű képet kaphassunk a kisvízfolyásaink medreiben lefolyó vizek mennyiségéről.

A Dél-Dunántúl felszíni vízhasználata 90 %-ban a halászati tevékenységekhez kötődik (9. ábra).



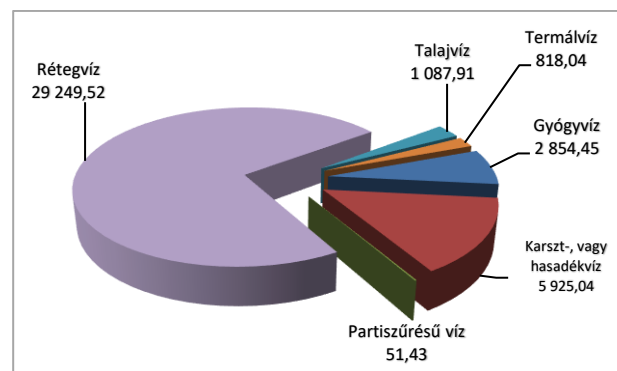
9. ábra. Felszíni víz felhasználási céljai 2018-ban (ezer m³-ben)
Figure 9. Types of surface water usage in 2018 (in 1000 m³)

Az ország dombvidékein, de különösen a Dél-Dunántúlon a felszíni vizek kedvelt hasznosítási módja a halasított tavak létesítése, üzemeltetése. A halastavak, halastó rendszerek elterjedése a térségben több évszázados múltra tekint vissza. A 19. századtól a főúri uradalmak építettek a nagyobb vízfolyások mentén (Rinya vízrendszer, Kapos, Fekete-víz nagyobb mellékágai) hossz-töltéses, duzzasztóval tápcsatornába kiterelt megoldással tavakat, tófüzereket. A következő jellegzetes időszak az 1960-as évek voltak, amikor a mezőgazdasági termelő szövetkezetek és állami gazdaságok körében vált népszerűvé a halászati tevékenység, és sorra létesültek a halastavak, de most már szinte kizárólag völgyzárógátas formában. Ebben az időszakban a halastavak száma gyakorlatilag megduplázódott.

A területen több helyen található természetvédelmi célú vízpótlás (Cún-Szaporcai holtág, Babócsai Bika-rét, Újvárfalvai-rét), amely során az ökológiai vízmennyiség biztosítására juttatnak vizet a vízhez kötődő biodiverzitás megőrzése érdekében.

Felszín alatti vizek

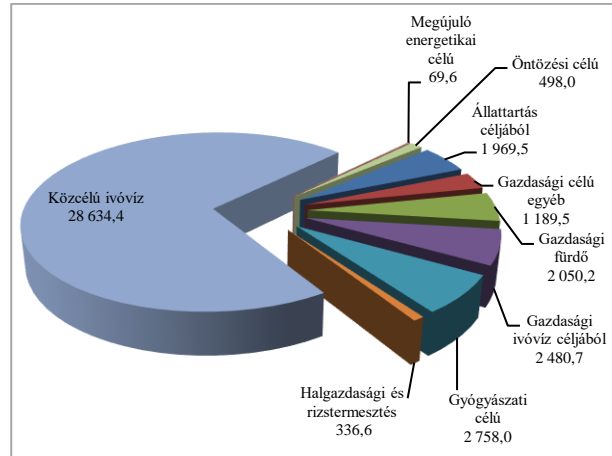
A DDVIZIG működési területén a felszín alatti vízhasználat a felszíni vízhasználathoz képest lényegesen kevesebb, csaknem a fele. A felszín alatti vizek közül a rétegvíz használat a legjelentősebb, de a karsztvíz, gyógy- és termásvíz felhasználása is gyakori az Igazgatóság működési területén (10. ábra).



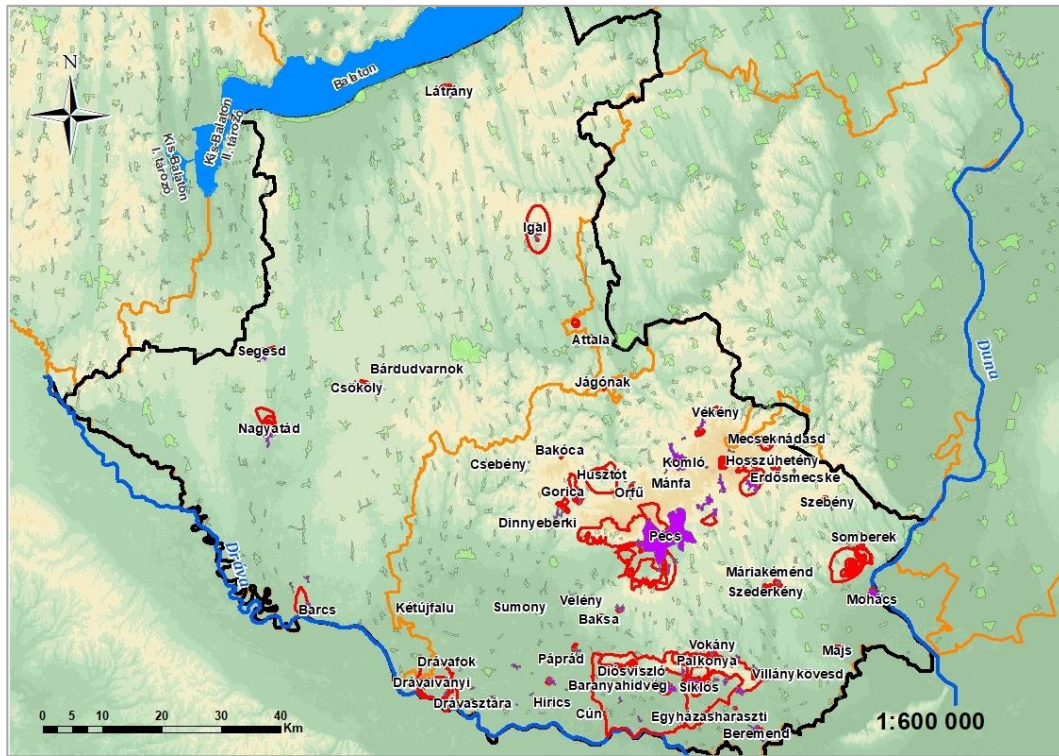
10. ábra. Vízjogi engedélyek által lekötött felszín alatti vizek 2018 évben (ezer m³-ben)
Figure 10. Groundwater which were reserved by water permits in 2018 (in 1000 m³)

A különböző típusú felszín alatti vízből 68 %-os arányt képvisel a közcélú ivóvízellátást szolgáló vízhasználat, de a termál- és gyógyvíz felhasználás és az öntözésre használt vízigények növekedése is tapasztalható (11. ábra).

Az eddig feltárt felszín alatti vízkészletek a két megye ivóvíz ellátását belátható időn belül garantáltan biztosítják. Somogy megyében az ivóvíz céljára felhasznált rétegvíz általában a felszíni szennyezésre kevésbé érzékeny 100-300 m mélységből kerül a felszínre, ezért a minőség biztonsága szempontjából itt kedvező a helyzet. Baranya megye déli részén 50-150 m közötti sekélyebb mélységben a Dunántúltól délnyugatról elárasztott Pannon beltenger által lerakott üledékekből, finomszemű homok rétegekből származik a jó minőségű ivóvíz. A karsztosodott mészkőből és a törmelékes zónából termelt ivóvíz felhasználás is jelentős. Mindezen adottságok miatt Baranya megyében sok a sérülékeny ivóvízbázis és karsztforrás. Védőövezeteik a 12. ábrán láthatók.



11. ábra. Felszín alatti vizek felhasználási cél szerint 2018-ban (ezer m³-ben)
Figure 11. Types of usages of groundwater in 2018 (in 1000 m³)



12. ábra. Sérülékeny üzemelő vízbázisok
Figure 12. Vulnerable operating groundwater resources

A hosszú távú ivóvízellátás biztosítása érdekében a Dráva mentén távlati vízbázisok lettek lehatárolva és biztonságba

helyezve, melyeknek kezelőjeként mennyiségi és minőségi monitoring hálózatot működtet az Igazgatóság (1. táblázat).

1. táblázat. Távlati vízbázisok
Table 1. Backup water resources

Távlati vízbázisok a DDVIZIG működési területén	Védett kapacitás (m³/nap)
Drávacsehi-Kémes	10 000
Drávapart	20 000
Heresznye-Bolhó	15 000
Drávasztára-Zaláta	20 000
Drávagárdony	10 000
Szentborbás	10 000
Vízvár-Bélavár	20 000
Drávakeresztúr-Felsőszentmárton	10 000
Piskó-Vejti	10 000
Csurgó	5 000
Összes	130 000

Vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés

Az Igazgatóság a Dráva részvízgyűjtő, valamint a Rinya-mente, a Fekete-víz és az Alsó-Duna jobb part tervezési alegységek vízgyűjtő-gazdálkodási terveinek elkészítését koordinálja (13. ábra). Ezekon kívül a működési terület jelentős részét érintik a Balaton közvetlen-, a Kapos- és a Sió alegységek, ahol a koordináló VIZIG felé részfeladatokat teljesít a DDVIZIG (OVF 2015).

Vízminőség, víztestek értékelése

A monitoring eredményei, az állapotértékelés, valamint a jó állapot eléréséhez szükséges intézkedések a hat-évente készülő Vízgyűjtő-gazdálkodási Tervben (VGT) kerülnek rögzítésre.

A DDVIZIG működési területén 162 vízfolyás-, 26 db állóvíz- és 43 db felszín alatti víztest található. A vízfolyások kategóriájukat tekintve zömében (102 db) erősen módosítottak, további 17 db mesterséges és csak

43 db mondható természetesnek. Az állapotértékelésük alapján az alábbi minősítések adódtak (2. táblázat).



13. ábra. A vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés alegységei
Figure 13. Sub-basins of the river basin management planning

2. táblázat. Vízfolyás víztestek minősítése
Table 2. Qualification of river water bodies

állapot	rossz	gyenge	mérsékelt	jó	kiváló	adathiány	nem alkalmazható	összes
ökológiai állapot	38	58	50	4	0	8	4	162
kémiai állapot	3			105		54	0	162
integrált állapot	38	58	49	4	0	13	0	162

A táblázatból látható, hogy folyóvíz víztesteink kétharmada gyenge vagy mérsékelt állapotú, negyede rossz minősítést és csak mindössze 2,5 %-a kapott jó minősítést.

Az állóvíz víztestek közül 24 db erősen módosított, csupán 1-1 természetes és mesterséges kategóriájú, kémiai állapota egynek kiváló (Pécsi-tó), az Attala-Inámi-halastórendszernek az ólom és vegyületei komponens miatt nem jó, a többi adathiányos. Az állóvíz víztestek esetén a VGT2 minősítési időszakában biológiai komponenseket nem vizsgáltak, így ebből a szempontból minden víztest adathiányos.

A DDVIZIG működési területén található három részvízgyűjtőhöz 27 db felszín alatti víztest kapcsolódik. A víztestek állapotának minősítése két (mennyiségi és minőségi) szempont alapján a 2008-2013 közötti időszak változásai szerint végezték, figyelembe véve az előzményeket is. Az állapot értékelés során a megfelelő intézkedések meghatározásához azonosítani kell a gyenge állapotot kiváltó tényezőket. Az állapotértékelése alapján a felszín alatti vizek minősítése a következő (3. táblázat):

3. táblázat. Felszín alatti víztestek minősítése
Table 3. Qualification of groundwater bodies

állapot	gyenge	jó	jó, de gyenge a kockázata	összes
mennyiségi állapot	2	25	0	27
kémiai állapot	4	21	2	27
integrált állapot	5	20	2	27

Vízellátás, szennyvíztisztítás

Az OVF, és így az igazgatóságok jogköre 1957. január 1-től egészült ki az ivóvíz-ellátási-, csatornázási- és helyi vízkárelhárítási feladatkörökkel, azt követően, hogy az ipari vízellátás-csatornázási témák már 1955. januártól ide kerültek. Az igazgatósági szakágazatra jelentős feladatok hárultak, amely túlmutatott a szokványos hatósági tevékenységen, nevezetesen a célok megfogalmazása, a fejlesztések ütemezése, különböző koncepció tervek készítése vonatkozásában. Csak címszavakban említve ezeket: törpevízmű program, közegészségügyileg veszélyeztetett települések vízellátása, víztakarékossági program, ipari üzemek vízgazdálkodásának felülvizsgálata stb., egészen napjainkig, amikor a legnagyobb kihívást a 25/2002. (II. 27.) Korm. rendeletben megfogalmazott „Nemzeti települési szennyvízelvezetési és tisztítási program” végrehajtása jelenti.

Említésre méltó, hogy az ország első víziközmű társulata 1958. március 20-án alakult az akkor hozzánk tartozó Dombóváron Dombóvári Vízmű Társulat néven. Az országban első szennyvízcsatorna társulat is igazgatóságunk területén alakult meg Villányban 1959. március 25-én.

A közműves ivóvízzel ellátott lakosság 1960-ban Baranyában 38%, Somogyban 11% volt, ami 2000-ben az ezredfordulón 96 és 97 %-ra bővült, napjainkban pedig az 528 településen egységesen 100 %, igaz a kifogástalan vízminőség tekintetében még nem mondhatjuk el ugyanezt.

A szennyvíz közmű ellátottság 1960-ban Baranyában 20%, Somogyban 12% volt, ami 2000-ben az ezredfordu-

lón 53 és 39 %-ra bővült, napjainkban pedig 68, illetve 52 %. Az aprófalvas településszerkezet miatt az ellátott településszám lényegesen kedvezőtlenebb képet mutat, miszerint a két megyében csatornázott 210 település 39,8%-ot jelent. (4. táblázat). Baranya gyorsabb fejlődése elsősorban annak köszönhető, hogy a számos sérülékeny vízbázis védelme érdekében kedvezőbb elbírálás alá estek a pályázati feltételek kidolgozásánál.

4. táblázat. Víziközmű üzemeltetők a működési területen
Table 4. Water utility suppliers in the operational area

üzemeltető	ivóvízzel ellátott települések száma (db)	csatornával ellátott települések száma (db)
BARANYA-VÍZ Zrt.	192	51
Dunántúli Regionális Vízmű Zrt.	232	108
TETTYE FORRÁSHÁZ Zrt.	15	13
Mezőföldi Regionális Víziközmű Kft.	16	7
Délzalai Víz- és Csatornamű Zrt.	20	11
KAVÍZ Kaposvári Víz- és Csatornamű Kft.	53	20

A víziközmű szakterület feladatai között szerepelnek az Ivóvízminőség-javító Program és a 25/2002. (II. 27.) Korm. rendelet szerinti Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és -tisztítási Megvalósítási Programmal (továbbiakban: Program) kapcsolatos műszaki feladatok, mint például műszaki dokumentáció véleményezése, felterjesztések megküldése stb.

Az informatikai adatbázisban jelenleg 61 agglomeráció, valamint az azokhoz tartozó települési gyűjtőhálózatok, szennyvíztisztító telepek és kibocsátási pontok kerülnek éves szinten felülvizsgálatra.

A szakterület fokozottan részt vesz a vízellátást és a szennyvízkezelést érintő szakmai pályázatok, projektek értékelésében. A Területi Vízgazdálkodási Tanács Szakmai Bizottságai által a 2014-2020. tervidőszakban megtárgyalt pályázatok száma eddig 57 db, ezek jelentős része a pályázati konstrukció keretén belül nyertes.

Vízrajzi monitoring

A vízrajzi monitoring alapjait a Duna és a Dráva vízmércéi jelentik, melyek közül a legrégebbi a Dunán, Mohácson, 1835-ben létesült. A folyamatos vízállás és jég észlelés 1852-től, míg a vízhozamok mérése 1884-től, a víz-hőmérséklet mérése 1948-tól, a rendszeres hordalékmérés 1968-tól, a vízminőségi mintázások 1963-tól kezdődött. A Dráván, Baracson 1872-től van vízállás és jég észlelés, a vízhozamot 1960-tól, a lebegtetett hordalékot és vízminőségi paramétereket 1968-tól méri a szakemberek. A monitoring jelentős részét az ötvenes évek elején a VITUKI által létesített, majd a nyolcvanas években átvett felszíni, meteorológiai és kút törzsállomások alkotják. Vízfolyásainkon, a később létesített állomásokat kivéve, gyakorlatilag 1950-től vannak folyamatos vízállás-vízhozam méréseink. Hordalékmérések napjainkban is csak a Dunán és a Dráván történnek. Az Igazgatóság saját forrásokból szintén jelentős számú üzemi állomást létesített az elmúlt évti-

zedekben. A megfigyelések a meteorológiai, a felszíni, felszín közeli, felszín alatti vizek jellemző mennyiségi paramétereire összpontosulnak. A működési területen 390 db állomáson történik adatgyűjtés, ebből 113 felszíni, 117 felszín közeli, 130 felszín alatti és 30 hidrometeorológiai.

A működési terület felszíni vizeinek távmérőállomás sűrűsége 70 km/állomás. A távmérőhálózat alapjait 1969-ben a Dunán, Mohácson a VITUKI helyezte el. A jelenlegi hálózat kialakítása 1991-ben szintén itt kezdődött a teljes felújítással. Az első fejlesztések a dunai és drávai állomásokat érintették. A bővítés során újabb elvárások jelentkeztek. A működési terület nagy része dombvidéki jellegű, így a villámárvizek, a gyors lefolyású árhullámok jellemzőek a kisvízfolyások nagy részén. A távmérőhálózat létesítése ezen szempontokat is figyelembe véve lett kialakítva. Jelenleg 72 db távmérőállomás üzemel a működési területen, ezek állomástípus szerint 49 felszíni, 14 felszín közeli és 9 meteorológiai.

A vízrajzi szakterületen két jelentős fejlesztés történik, ami tovább növeli a szakágazat feladatait. Folyamatosan bővítésre kerül az Igazgatóság aszálymonitoring rendszere. A hat aszálykörzetből kettőben már kiépült és üzemelnek az állomások (Szederkény, Kálmánca). Ebben az évben további három állomás épül ki (Nagybajom, Berzence, Felsőszentmárton), és várhatóan az ezt követő évben Kapoly és Kórós térségében létesül monitoring. Szintén jelentős feladatot képez az Ős-Dráva projekt üzemeltetési feladatait segítő vízrajzi monitoring tervezése és későbbi üzemeltetése. A rendszer tervezési fázisa most történik, a megvalósulása után tucatnyi vízállás-regisztrálót, ADCP elven működő ultrahangos vízhozammérő berendezést kell működtetni az osztálynak.

A vízrajzi tevékenységbe szervesen illeszkedik a VKI monitoring számára szükséges vízhozammérések havi gyakorisággal történő elvégzése. Ezek a vízmintavételi helyekkel megegyező mérési pontok a vízgyűjtők kevésbé feltárt részein vannak. Az évente változó mintavételi helyek - szelvények száma 100-150 között mozog.

IRODALOM

Budai T., Konrád Gy. (2011). Magyarország földtana. Egyetemi jegyzet, Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar, Pécs.

Burián A., Domány A. (2019). A vízierőművek hatása a Dráva vízjárására. Hidrológiai Közlöny, 99. évf. 4. szám, pp. 5-12.

Burián A., Horváth G., Márk L. (2019). The Drava River Environmental Problems and Solutions, Chapter 10 Channel Incision Along the Lower Drava. Editor: Dénes Lóczy. Springer Geography, Switzerland. ISBN: 978-3-319-92815-9.

Dövényi Z., szerk. (2010). Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.

OVF - Országos Vízügyi Főigazgatóság (2015). A Duna-vízgyűjtő magyarországi része vízgyűjtő-gazdálkodási terv – 2015, Budapest.

VITUKI (2003). A Dráva hordalékjárásának vizsgálata a legfrissebb adatok figyelembevételével. Témafelelős: Dr. Szekeres János, Budapest.

A SZERZŐK



SCHUBERT JÓZSEF építőmérnök, munkahelye 1974-2017 között a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság. Nyugdíjba vonulása óta megbízással segíti az Igazgatóság munkáját. 43 év alatt vezetőként irányította felváltva a vízrendezési-, a vízellátás-csatornázási- és a vízgazdálkodási szakágazatot, amin belül a vízrajz, a hidrológia, a vízkészlet-gazdálkodás, a vízhasznosítás és a vízbázisvédelem nevezhető meg jelentősebb részterületeknek. Hat évig az Igazgatóság műszaki igazgató-helyettese volt. Számos esetben részt vett kutatási tevékenységben projekt vezetőként vagy szakértőként. Szakmai irányítása és közreműködése mellett jelentős eredményeket ért el a DDVIZG a térinformatikai alkalmazási-, a vízbázisvédelmi- és a vízkészlet-gazdálkodási tevékenység területén. Részt vett több ágazati jogszabály szakmai előkészítésében.



SINDLER CSABA környezetmérnök és építőmérnök, 2006 óta a vízügyi igazgatóság dolgozója. Pályafutását a Víz Keretirányelv és a vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés feladatainak ellátásával kezdte, később kezdett aktívan foglalkozni a felszíni vízkészlet-gazdálkodás témakörével, melyet igazán a szakterületének tekint. 2016 óta az Igazgatóság Vízügyi és Vízgyűjtő-gazdálkodási Osztályának osztályvezetője, mely egység a fentiekén túl felszín alatti vízkészlet-gazdálkodási, víziközmű és vízminőségi tevékenységeket, továbbá magyar-horvát viszonylatban határvízi feladatokat is ellát. Ez utóbbi kapcsán az Integrált Vízgazdálkodási Albizottság magyar delegációjának vezetője. Pályafutása során több projekt szakértője, szakmai rendezvény résztvevője, előadás megtartója és cikk megírója. 2011-től kezdődően a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

PINCZEHELYI-TÁTRAI TÍMEA környezetmérnök, vállalkozás menedzser szakmérnök, 2001. évtől a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság dolgozója. A csaknem 20 év alatt többek között a Víziközmű Osztály vezető-helyetteseként, igazgatói műszaki titkárként, igazgatási csoportvezetőként, valamint PR munkatársként dolgozott. Az Igazgatóság (DDOP, KEOP, ROP, GEF, IPA, KEHOP, INTERREG stb.) projektjeiben az évek során folyamatosan részt vesz a különböző feladatköreinek témáival. Jelenleg a Területi Vízgazdálkodási Tanács titkáráként a Vízügyi és Vízgyűjtő-gazdálkodási Osztályt erősíti.

GAÁL ERZSÉBET vegyészmérnök, környezetvédelmi szakmérnök, minőségbiztosítási szakmérnök, 1992-2015. között a Dél-dunántúli Környezetvédelmi Felügyelőség Mérőközpontjának analitikusa, minőségirányítási-, majd az utolsó 10 évben mérőközpont vezetője. 2016 óta a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Vízügyi és Vízgyűjtő-gazdálkodási Osztályán vízminőségi, monitoring és kármentesítési feladatok ellátását végzi. 20 éve a Magyar-Horvát Vízminőségvédelmi Albizottság szakértője, 2016 óta a magyar delegáció vezetője. Szakmai pályafutása során részt vett több analitikai szabvány és pályázati anyag szakmai részének kidolgozásában, véleményezésében, tagja volt számos szakmai munkacsoportnak.

KOVÁCS GÁBOR a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnök Karán szerzett építőmérnök BSc és okleveles infrastruktúra-építőmérnök MSc végzettséget. 2014 óta a vízügyi igazgatóság dolgozója. A Vízügyi és Vízgyűjtő-gazdálkodási Osztályon felszíni vízkészlet-gazdálkodási referens munkakörben tevékenykedik, fő feladatai a vízkészletek rendelkezésre állásának vizsgálata, vízgyűjtő-gazdálkodás tervezés, felszíni vizekkel kapcsolatos szakértői tevékenységek végzése.

SÁGHINÉ JUHÁSZ ILDIKÓ bányageológus mérnök. 1986-2003 között vízellátáshoz kapcsolódó hidrogeológiai feladatokkal foglalkozott, majd 2003 júliusa óta a vízügyi igazgatóságon felszín alatti vízkészlet-gazdálkodási referens. Foglalkozik (többek között) a felszín alatti vízhasználatok és vízhasználatok nyilvántartásával, vagyongazdálkodási hozzájárulások kiadásával, a távlati vízbázisok fenntartásával. Részt vesz továbbá a sérülékeny üzemelő vízbázisok biztonságban tartási munkáiban és a Víz Keretirányelv végrehajtása érdekében végzett vízgyűjtő-gazdálkodási tervezésben. A Magyar Hidrológiai Társaság Baranya Megyei Területi Szervezetének titkáráként számos előadói részt, szakmai tanulmányutat szervez és koordinálja az éves Vándorgyűlésen való részvételt.

SZALÓKY MIRA geográfus és térinformatikai szakasszisztens, 2015 novembere óta a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság dolgozója. 2017 óta a felszín alatti vízkészlet-gazdálkodási feladatok (üzemelő ivóvízbázisok, térképi állományok, felszín alatti vízkivételek adatszolgáltatása, vagyongazdálkodási hozzájárulások, illetve objektumazonosítási nyilatkozatok) ellátásával foglalkozik.

HORVÁTH ZOLTÁN a Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Karán szerzett építőmérnök diplomát. 2015 óta a vízügyi igazgatóság Vízügyi és Vízgyűjtő-gazdálkodási Osztályának víziközmű referense. Munkakörébe tartozik többek között a vízellátással és szennyvíztisztítással kapcsolatos feladatok ellátása. Ezen felül több, országos szintű szakmai rendezvény résztvevője, előadás megtartója.

HORVÁTH GÁBOR vízgazdálkodási mérnök, vízrajzi szakmérnök, 1984 óta az Igazgatóság dolgozója. 1988-tól dolgozik a vízrajz szakterületén, 1994-től csoportvezetőként, 2003-tól osztályvezető-helyettesként, majd 2014-től osztályvezetőként. Feladatköre az igazgatósági vízrajzi monitoring irányítása, fejlesztése. Az igazgatósági vízrajzi távmérőhálózat alapítója, több nemzetközi projekt menedzselésének irányítója. A Magyar-Horvát Duna és Dráva Vízgyűjtő Albizottság hidrológus szakcsoport magyar delegációjának vezetője.

PÁL IRINA meteorológus mérnök; 1992 óta a vízügyi igazgatóság dolgozója. A Vízrajzi és Adattári Osztályon kiemelt műszaki referensként dolgozik. Főbb tevékenységei és feladatkörei a hidrometeorológiai hálózat működtetése, adatok gyűjtése, feldolgozása, értékelése, hidrológiai statisztikák készítése, adatszolgáltatás. Számtalan hazai és nemzetközi projekt résztvevője. Közreműködött több szakmai program fejlesztésében és tesztelésében. Emellett a Magyar-Horvát Duna és Dráva Vízgyűjtő Albizottság hidrológus szakcsoportjának tagja.

JAKAB RÓBERT meteorológus; 2009 óta dolgozik a Vízügyi Igazgatóság Vízrajzi Osztályán. Az Igazgatóságon elsősorban a hidrometeorológiai állomáshálózat fenntartása, az innen beérkező adatok feldolgozása, valamint egyéb, a meteorológiával kapcsolatos feladatok megoldása a fő feladata. Emellett részt vesz a vízrajzi mérésekben is. Az Igazgatóságon részt vállalt számos hidrológiai modell megalkotásában.

MOSONYI ZOLTÁN okl. építőmérnök. 1988 óta a vízügyi igazgatóság dolgozója és egy kétéves útépítő (STRABAG) kiterővel, az Igazgatóság különböző szakterületein tevékenykedett. Kezdetben az Építési Üzemből kivitelezés, előkészítés, majd a központban vízrendező, majd árvízvédelem szakterületeken. Jelenleg a Vízrendezési és Öntözési Osztály dolgozója. Több beruházásnak és projektnek volt felelőse. A Magyar Mérnöki Kamara tagja, tervezőként és szakértőként is tevékenykedik, valamint műszaki ellenőri jogosultságát is hasznosítja.

Az Alsó-Tisza vízgyűjtőjének vízgazdálkodási mérföldkövei az elmúlt 100 évben és kihívásai az elkövetkezendő 100 évre

Kozák Péter

Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság igazgatója (kozakp@ativizig.hu),
a Nemzeti Községi Igazgatóság Víztudományi Karának adjunktusa

Kivonat

Az Alsó-Tisza vízgyűjtője különleges hidrológiai adottságokkal rendelkezik. Árvizek keletkezése szempontjából található a vízgyűjtőn olyan folyóvölgy, amely az árvizek kialakulásával kapcsolatban csak néhány napos időelőny áll rendelkezésre a védekezési feladatok irányítója számára, de olyan vízfolyás is, amelyen akár 10 napos előnye is lehet. A Tisza vízgyűjtő vízfolyásain a kialakuló árvizek képesek levonulni néhány nap alatt, de a Tisza folyó esetében akár több hónapig elhúzódó árvizekkel is meg kell küzdeni. A vízgyűjtő talajadottságai és területhasználata miatt a belvizek kialakulására különösen érzékeny. Az aszályok és a vízhiányok elleni küzdelem jelentős feladatokat jelentett a múltban és jelent napjainkban is. A vízhiányok súlyossága kapcsán nagy figyelem irányul a felszín alatti készletekre a felszíni készletekkel együtt.

Kulcsszavak

Vízkárelhárítás, mezőgazdasági vízszolgáltatás, árvíz, belvíz, vízkészletgazdálkodás.

Water management milestones of the Lower Tisza River Basin in the last 100 years and challenges for the next 100 years

Abstract

The Lower Tisza River Basin has special hydrological features. In terms of the formation of floods, there are river valleys in the basin that, regarding the occurrence of floods, only have a few days of advantage for the operator of defensive tasks, but there are others that provide advantage up to 10 days. The emerging floods in the Tisza River Basin are able to recede in a few days, but in the case of the Tisza River, floods lasting several months that have to be dealt with. Due to the soil characteristics and method of land use of the Tisza River Basin, it is particularly sensitive to the formation of inland excess waters. Combating droughts and water scarcity has been a major task in the past and it continues to be a major challenge nowadays as well. Regarding the severity of water shortages, much attention is paid to groundwater resources along with surface water resources.

Keywords

Water damage prevention, agricultural water supply, flood, inland excess water, water resources management.

BEVEZETÉS

Az Alsó-Tisza vízgyűjtője speciális területi és éghajlati adottságokkal rendelkezik. Síkvidéki elhelyezkedése folytán kiemelten érzékeny a hidrológiai szélsőségek kialakulásával kapcsolatban. Az érintett folyószakaszokon kialakuló csekély vízszintesések következtében a térségben átvonuló árhullámok hosszú ideig tartják árvízi terhelés alatt az árvízvédelmi védműveket. A közvetlen vízgyűjtő morfológiai és hidrológiai viszonyainak eredményeként a felszíni vizek összegyülekezése korlátozott, sokszor antropogén hatások által akadályozott melynek következtében a terepfelszínen gyakran alakulnak ki hosszú idejű belvízi elöntések. A felszínközeli talajvizek áramlási viszonyainak hatására felszíni elöntések kialakulása is növeli a térség kitettséget.

AZ ALSÓ-TISZA VÍZGYŰJTŐJÉNEK JELLEMZŐI

Az Alsó-Tisza vidéki Vízügyi Igazgatóság területe az Alföld nagytáján helyezkedik el. Működési területe érinti Körös-Maros köze középtájat, a Duna-Tisza közti síkvidéket, az Alsó-Tiszavidék középtájat. A középtájakat az alábbi kistájak építik fel: Körösszög, Csongrádi-sík, Békési-hát, Marosszög és Dél-Tisza völgye, Bugaci-homokhát K-i fele, a Dorozsma-Majsai-homokhát, a Kiskunsági-lőszőshát, a Bácskai lőszős síkság, valamint a Dél-Tisza-völgy (Dövényi 2010).

A terület felszínének mai képét leginkább a negyedidőszakban bekövetkezett változások határozzák meg. A táj kialakításában fluviális felszínformáló folyamatok domináltak, a szél felszínformáló hatása csak korlátozott volt. A vízgyűjtő nyugati részén a pleisztocén elején az Ős-Duna még Szeged felé folyt, s hatalmas hordalékkúpot alakított ki, kezdetekben durva, később finomabb üledéket szállított. A würm közepén a tektonikai változások miatt a folyó elhagyta a területet, s a száraz, hideg éghajlat miatt az eolikus felszínformálás vált meghatározóvá. A hordalékkúp egyenletes felszíne ettől az időszaktól vált hullámossá, melyet ma is láthatunk. A nagyarányú homokmozgások jelentősen átalakították a hordalékkúpok felszínét (VKI Tisza jobbpárt 2016). A Körösök és a Maros közötti vízgyűjtőn a pleisztocén elején a Berettyóújfalú – Szeghalom – Szentes vonalon haladó Ős-Tisza az alegység É-i részének fő felszínalakító tényezője volt. A Körösök ekkor még nem érték el a területet. A würmben bekövetkező tektonikai változások miatt a Tisza követve a süllyedés irányát Hódmezővásárhely felé folyt és fokozatosan magához vonzotta a Körösöket. A folytonos fluviális felszínformálásnak köszönhetően jöttek létre azok a tökéletes síkságok, enyhén hullámos síkságok, amelyek ma a táj „egyhangúságát” jelentik. Az eolikus felszínformálás ugyan csak kevés nyomot hagyott a felszínen, azonban a légkörbe jutott finom szemcsék hullópor formájában visszajutottak a felszínre és kiváló minőségű talajok jöttek létre. Az egykori

vízhálózat nyomai az intenzív mezőgazdasági művelés miatt nagyrészt eltűntek. Az ember megjelenése előtti időszakban az alegység területén kiterjedt mocsárvilág virágzott, melynek táplálója a Körösök egykori kusza vízrendszerének maradványai voltak (VKI Kurca 2016). A Maros vízgyűjtőjének kialakításában az Ős-Tisza, Ős-Maros volt meghatározó. A pleisztocén elején az Ős-Tisza még a területet érintve formálta a tájat, ennek bizonyítéka a Deszk határában ma is jól látható övzátony sor. A Maros fejlődése a pliocén közepétől követhető nyomon. A tektonikus mozgások eredményeként a Maros saját hordalékkúpján vándorolt, szélesítette, bővítette, formálta azt. Végleges vonalát a Szeged környéki süllyedések hatására vette fel. Területén nem alakultak ki jelentős pozitív és negatív formák, a Maros és fattyúágai folyamatosan egyengették a felszín. Az eolikus felszínformálás csak kevés morfológiai formát hozott létre, azonban ezen a területen számottevő szerepe volt. A löszös felszínborítás eredményeként néhol még kivehetők az egykori vízhálózat nyomai, ám ezek az intenzív mezőgazdasági művelés miatt nagyrészt eltűntek. A szabályozási munkák megkezdése előtti időszakban az alegység területén kiterjedt mocsárvilág virágzott, melynek táplálója a Maros, és egykori vízrendszerének maradványai voltak (VKI Maros 2016).

A terület éghajlata mérsékelt meleg, illetve meleg-száraz. Az évi napsütéses órák száma kiemelkedően magas, 2000-2100 óra körüli, ettől csak kismértékű eltérés tapasztalható. Az évi középhőmérséklet 10,2 – 10,7 °C. Az évi csapadékösszeg 500 – 620 mm között változik, de az utóbbi évtizedekben csökkenés, ill. a szélsőségek erősödése tapasztalható. Vízihiányos időszakban akár egyhavi csapadék-mennyiséggel is kevesebb hullhat a területre. A Pálfai-féle besorolás szerint eddig előfordult aszályok alapján az erősen aszályos, nagyon erősen aszályos zónába tartozik az alegység. A belvív-veszélyeztetettség térkép szerint az alegység mélyfekvésű ártéri területei közepesen, a legmélyebb térszínek pedig az erősen belvívveszélyes kategóriába tartoznak. A Csongrádi-sík magasabb területei mérsékelt kockázatosak, s csak a Békési-hát „magaslatai” mentesülnek a belvízi elöntés alól. A legmélyebb térszínek, melyek csak a Torontáli öblözetet, illetve Battonya déli részét érintik, az erősen belvívveszélyes kategóriába tartoznak.

A téli félévben kialakuló hótakaró vastagsága átlagosan 18-35 cm, a hótakarós napok száma 28-35 között változik. Az uralkodó szélirány északi, illetve déli, a szélsőesség átlagos értékei nem haladják meg a 3 m/s-ot.

Az alegység fő vízfolyása a Máramarosi-havasokban 1000 m körüli magasságban eredő Tisza, amely a Rahó mellett egyesülő két ágból áll össze. Jelenlegi teljes hossza 962,2 km, amelyhez 157 200 km² vízgyűjtőterület tartozik, ebből magyarországi szakaszára 596 km és 47 000 km² jut. Vízjárása a kontinentális hatás miatt erősen ingadozó. Az ingadozó vízhozamot (ebben akár 120x-os különbség is előfordulhat) a vízgyűjtőterület középhegység-jellegű domborzata, valamint a csapadékviszonyok is befolyásolják. A tengerszint feletti magasság hatással van a vízgyűjtő terület csapadékmennyiségére (a nagyobb magasság fokozza az esőgyakoriságot), ami maximumát a hegyek lejtőin, a légtömegek élénk felemelkedésének zónájában éri

el. A Tiszát kora tavaszi nagyvizek (a bekövetkező hóolvadások miatt), másodmaximumok (ritkábban) jellemzik, azonban nyár elején és ősszel is kialakulhatnak árhullámok (októberben és novemberben) a Földközi-tenger felől érkező csapadék hatására.

A terület vízföldtani adottságairól elmondható, hogy a talajvizek nyugalmi szintje több métert süllyedt az elmúlt harminc évben. A rétegvizek szintjében tapasztalt süllyedés az 1990-es évektől kezdődően megállt, és csekély mértékű nyomás emelkedés tapasztalható. A térség jelentős vízföldtani potenciálja a terület alatt elhelyezkedő termálvízkincs, melyet jellemzően energetikai céllal termelnek ki. Ennek kitermelését az 1960-as évektől kezdődően intenzíven végzik. A kitermelés fenntartható folytatását a változó jogszabályi környezet nem segíti elő. Az energetikai céllal kitermelt vízkészletek visszasajtolásának elmaradása következtében, a termálvízadó rétegekben folyamatos nyomáscsökkenés figyelhető meg (VKI Kurca 2016).

A vizsgálati területen 114 település található, melyből 4 megyei jogú város.

AZ ALSÓ-TISZA VÍZGYŰJTŐJÉNEK HIDROLÓGIAI JELLEMZŐI

A Tisza 253,8 - 159,6 fkm szelvények között (94,2 km) az igazgatóság működési területéhez tartozik. Két legnagyobb mellékfolyója a Körös és a Maros. A Tisza vízjárása mindkét folyóra hatást gyakorol, visszaduzzasztása révén. A folyó a tőle Ny-ra található valamennyi víztest befogadója, melyek ÉNy – DK irányú futásvonallal közelítik meg. A tavaszi, kora nyári vízbő időszakban a víztestek vizét szivattyúval emelik a befogadóba.

A Maros felső szakaszán végzett beavatkozások (tározóépítések) a vízjárás hevedését mérsékelhetik, hosszabb távon azonban a vízkészletek alvízi, magyarországi használatát tekintve jelentős kockázatot jelentenek.

A Körösök vízrendszere a vízpótlási rendszerek nélkül vízihiányos.

Az Igazgatóság működési területének árvízi kitérttségét a Tisza és mellékfolyóinak vízjárása befolyásolja, melyet legnagyobb mértékben a vízfelszín esés határozza meg. A Tisza folyó és vízgyűjtő rendszerén az 1840-es évektől végrehajtott folyószabályozási munkálatok kétségtelenül sokat segítettek a korábbi hátrányos helyzeten, de a folyó alapvető morfológiai adottságait nem változtatták meg. A Tisza jellemzője, hogy a folyó kisvízi és nagyvízi esése lefelé haladva csökken, így a legkiszolgáltatottabb helyzetben az alsó szakaszok vannak (Vágás 1982). A csökkenő nagyvízi esések következtében a folyószakaszra érkező árhullámok jelentősen lelassulnak, illetve sokszor több hónapig a térségben maradnak. Továbbá a csekély felszín esések következtében a Tisza és mellékfolyóinak egymásra hatása visszaduzzasztás formájában halmozottan érvényesül. Hasonlóan képes kifejteni a Tiszát befogadó Duna, melynek visszaduzzasztó hatását 2006-ban Csongrádig ki lehetett mutatni. A folyamatos változó vízszint-esések következtében a folyó ezen szakaszán a kialakuló vízszintek esetében a lefolyó vízhozamok eltérőek lehetnek annak függvényében, hogy a térség levonulási viszonyait meghatározó 4 folyón (Tisza, Duna, Maros, Hármas-

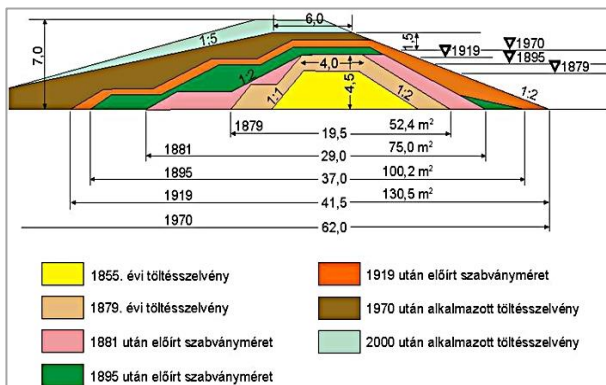
Körös) milyen vízjárás tendenciák alakulnak ki. A Tiszán és az azt duzzasztó, vagy általa duzzasztott mellékfolyóin a vízállások és vízhozamok kapcsolatát kifejező vízhozamgörbét csak közelítő összefüggésnek lehet tekinteni. Nem arról van szó, hogy a vízhozam-vízállás összefüggések nem elég pontosak, hanem hogy e két mértékszám közötti egyértelmű létezés hiányzik (Vágás 1982).

ÁRVÍZVÉDELEM

Az igazgatóság működési területén 4 ártéri öblözet helyezkedik el: az Alpári öblözet (51 km²), a Csongrádi öblözet (204 km²), a Szegedi öblözet (342 km²), a Körös-Tisza-Maros öblözet (1370 km²) és a Toronáti öblözet (243 km²). Az öblözetek védelmét 334,834 km hosszú fővédvonalai árvízvédelmi rendszer biztosítja, mely 305,335 km hosszban földtöltésből, 3,262 km hosszban árvízvédelmi falból, 26,237 km hosszban magas partból áll. Az árvízvédelmi rendszer 316,561 km hosszban kiépítési hiányos.

Az árvízvédelmi rendszer kiépítése folyamatos feladatot jelentett. Minden jelentősebb árvízvet követően a védelmi rendszer fejlesztésére jelentős források kerültek felhasználásra. Az árvízvédelmi fejlesztések megvalósítása során elengedhetetlen, hogy a lefolyás gyorsító intézkedések a folyó torkolatától kiindulva valósuljanak meg, míg a lefolyást késleltető beavatkozások a folyó felső szakasziról kiindulva valósuljanak meg. Sajnálatosan az Alsó-Tisza szakasz ilyen irányú érzékenysége miatt követlen árvízi katasztrófa is bekövetkezett, hiszen a várost pusztulásba taszító 1879. évi árvízi katasztrófa bekövetkezésében a nem kellő ütemezésben végrehajtott folyószabályozási munkák jelentős szerepet játszottak.

Az árvízvédelmi töltések fejlesztésének szakaszait az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. Árvízvédelmi töltés szelvényméretének változása (Forrás: ATIVIZIG)

Figure 1. Change of the flood embankment section size (Source: ATIVIZIG)

Az árvízvédelmi fejlesztések megvalósítása során az 1919. évi árvízig a bekövetkezett legnagyobb vízállásokhoz igazították a védelmi művek magasságát. Az 1919. évi árvízvet követően jelent meg a kiépítésekben a magassági biztonság, mely a későbbi fejlesztésekben már az kiépítések fontos alappillére volt, és napjainkban is az.

A folyó árvizei (Vágás 1982) közül az 1879. évi okozott árvízi katasztrófát Szegednél. Az áradások már 1878 karácsonyán megkezdődtek, melyet további áradások kö-

vettek. Szeged szempontjából végzetes árhullám 1879 februárjában lépett be az országba. A helyzetet súlyosította, hogy március elején a Maroson is megjelent egy árhullám, illetve a Maros árhullámával azonos időben a Körösökön kialakuló árhullám. A levonuló árhullámok Szegednél egyesülve okoztak gátszakadást (806 cm szegedi vízállással) és ennek következtében a város pusztulását.

A folyón valaha mért legnagyobb vízhozamot az 1932. évi árvíz alkalmával mérték Szegednél. Az árhullám 1932 tavaszán alakult ki. A levonuló árhullám Szegednél nem találkozott a Maroson érkező árhullammal, azonban így is 929 cm-es tetőző vízállást –és a tetőzést 6 nappal megelőzően– 4260 m³/s maximális vízhozamot eredményezett.

Sokáig mértékadó árvízként az 1970-es évben bekövetkezett árvízi időszakot tartották nyilván. A tavaszi olvadás következtében négy fokozódó árhullám vonult le a Tiszán. Az árhullámok következtében bekövetkező tetőzésekre hatással volt a Maroson érkező árhullámok sorozata, melynek következtében a folyó szegedi szelvényében a maximális vízszint 961 cm-re adódott. Az időszak során a rendkívül csapadékos időjárás következtében további árhullámok indultak meg a Tiszán és a Maroson is, de ezek tetőző értékei nem haladták meg az LNV-t. A rendkívül hosszú árvízi időszakot jól jellemezte, hogy 800 cm feletti vízállások 66 napig voltak.

A folyó ezidáig legnagyobb Alsó-tiszai árvizét okozó hidrológiai helyzet jól tükrözi annak hidrológiai sajátosságait. A Felső-Tiszán 2006 áprilisában kialakuló árhullámok levonulását jelentősen mérsékeltek a mellékfolyókon levonuló árhullámok. A Körösök és a Maros tartósan megújuló árhullámok gyengítették a folyó hidrológiai függetlenségét. Ezen hatások eredményeként április 22-én regisztrálták az új LNV-t 1009 cm-rel a szegedi szelvényben (1. táblázat). Az árvízi időszak különlegessége volt, hogy a tiszai árhullámokkal azonos időszakban a Dunán is levonult egy jelentő árhullám, melynek visszaduzzasztó hatását a folyó titeli torkolatától Kisköréig ki lehetett mutatni.

1. táblázat. Történelmi vízállás és vízhozam értékek a Tisza és a Maros szegedi és makói szelvényében (Forrás: ATIVIZIG)

Table 1. Historical water levels and water flow values in the Szeged and Makó sections of the Tisza and the Maros (Source: ATIVIZIG)

Év	Szeged		Makó	
	H _{max} [cm]	Q _{max} [m ³ /s]	H _{max} [cm]	Q _{max} [m ³ /s]
1919	916	-	483	1070
1932	923	4350	580	1810
1970	960	3830	692	2340
1975	692	2340	625	2320
2000	929	3570	500	1120
2006	1009	3790	533	994

Az árvízi időszakokban tapasztalt árvízi jelenségek kapcsolódnak a térségben tapasztalt hosszú árvízi időszakokhoz. Ezek elleni hatékony védekezés volt a múlt sikeres árvízi védekezéseinek záloga. Az árvízi jelenségek többsége a fakadó vizek megjelenésével kapcsolatosan je-

lentkezett. A mentet oldali rézsű állékonyságát is veszélyeztető fakadóvizek kezelésének hosszú időszakra visszatekintő hagyománya alakult ki, melyre támaszkodva költséges, bonyolult beavatkozások nélkül biztosíthatók a védművek mentett oldali rézsűinek állékonysága. A védelmi szituációkban még jelentős erőforrásokat igényeltek a szivárgások, csurgások kezelésével kapcsolatos feladatok. Buzgárveszélyes rétegsorok következtében csekély számú, de annál nagyobb kiterjedésű buzgár felszámolásával kellett foglalkozni. A buzgárok elleni védekezések közül legemlékezetesebb az 1970. évi árvíz során Makónál kialakult buzgár volt, melyhez kapcsolódóan 18 000 ember kitelepítését hajtották végre (1. kép).



1. kép. Makói buzgár emléktáblája (Fotó: ATIVIZIG)
Picture 1. Sand boil plaque in Makó (Photo: ATIVIZIG)

Az árvízvédekezések során a felső szakaszokról érkező árhullámokkal kapcsolatos időelőnyök kellő időt biztosítanak a töltésoronát meghaladó árvizek elleni ideiglenes védművek kiépítésére. A közelmúlt árvízi fejlesztési közül meg kell említeni a Szeged városát védő belterületi védműrendszer átépítését, melynek során Magyarországon – jelenleg – a legnagyobb hosszban (mintegy 1600 m) került alkalmazásra mobil árvízvédelmi fal (2. kép).



2. kép. Szegedi mobil árvízvédelmi fal (Fotó: Kozák P.)
Picture 2. Mobile flood protection wall in Szeged (Photo: P. Kozák)

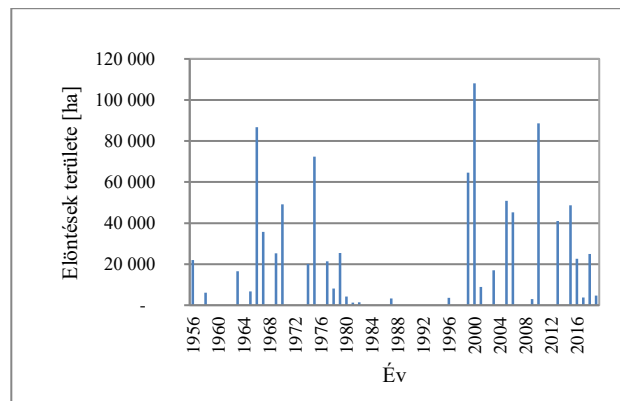
Az árvízi biztonság megteremtése érdekében a védelmi rendszer potenciáljának fejlesztése elsődleges. A hazai fejlesztések egyrészt a lefolyások gyorsítását célzó, másrészt az árvízi csúcsvíztömegek tározását biztosító eszközrendszer alkalmazását határozták meg. A lefolyás gyorsító intézkedések lokálisan a levonulási szintek csökkentését valósítják meg. A vízszintcsökkentés eredményeként a megnövelt lefolyási sebesség az alvízi szakaszon vízszint emelkedést okoz, hiszen az alvíz nem az érkezés ütemében

vezeti tovább a vizeket, hanem az alvízi levezetési viszonyok függvényében. Az árvízi tározók esetében az árvízi csúcs kerül kivezetésre, amelynek hatására csökken a vízszint. A tározóból a tetőzést követően apadó ágban kerül visszavezetésre a víz, vagy helyben felhasználják. Az Alsó-Tisza hidrológiai és hidraulikai sajátosságai miatt a tározás hatékonysága megkérdőjelezhető, hiszen árvízi időszakokban jellemzően duzzasztott állapotok alakulnak ki. A duzzasztás hatására csekély vízszinesések mellett hosszan elhúzódó árvizek jellemzik a szakaszt. A hatékony tározás ilyen levonulási viszonyok között nem valósítható meg. A lefolyás gyorsítása érdekében tervezett beavatkozások alkalmazhatóságát jelentősen korlátozza, hogy a folyószakasz szerbiai szakaszán jelenleg nem terveznek lefolyás gyorsító intézkedéseket melyek nélkül ezen beavatkozások nem hatékonyak. A folyószakasz árvízi kitettséget a hazai szakaszokon végrehajtott lefolyás gyorsító intézkedések nem csökkentették. A Tisza felsőbb szakaszain végrehajtott intézkedések hatására a várható árvízszintek növekedésére kell számítani. Ez a helyzet mindaddig fenn fog állni, míg a szerbiai folyószakaszon nem kezdődnek el lefolyás gyorsító intézkedések a folyó dunai torkolatától kiindulva. Az intézkedések folyószakaszra gyakorolt hatása alapján, megállapítható, hogy a folyószakasz árvízi biztonságának szempontjából elsődleges prioritással az árvízvédelmi rendszer kiépítését kell megvalósítani, különös figyelemmel a védelmi műveket kiépítési szint alatt keresztező műtárgyak (zsilipek, szivattyútelepek) rekonstrukciójára. A lefolyás gyorsítását csak a szerbiai folyószakaszon végrehajtott intézkedések megvalósítását követően szabad megkezdeni. Az árvízi tározás megvalósítását csak az előző intézkedések megvalósítását követően, azok gyakorlati tapasztalatai alapján célszerű megkezdeni.

BELVÍZVÉDELEM

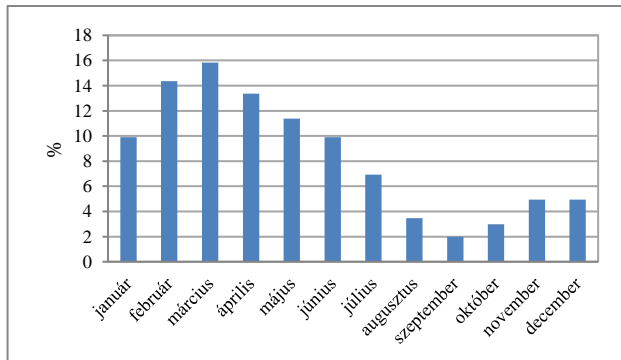
A belvíz megjelenése a terület természeti adottságaival kapcsolatos. A kicsiny terepesések következtében a felszíni összegyülekezési folyamatok a talaj felszíne helyett a talajba történő beszivárgás által megy végbe. Ezáltal a felszínen összegyülekezett vízmennyiség rendkívül lassan jut el a befogadókhöz, így felszíni/belvízi elöntések alakulnak ki.

A térség további sajátosságai azon felszín alatti áramlási sajátosságok, melyek eredményeként a terepen kialakuló elöntések keletkeznek. A kialakuló elöntések jellemzően hosszú időre kiterjedően borítják be a területet. Az Igazgatóság területén tapasztalat belvízi elöntések éves maximális nagyságát a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. A belvízi elöntések maximális nagysága
Figure 2. Maximum size of excess water floods

A területi belvizek éven belüli kialakulása alapvetően két időszakhoz köthetőek. A telet megelőző hosszabb felhalmozódási időszakokat követő tavaszi csapadékos időjárás következtében a tavaszi hónapok tekinthetők belvizesnek, illetve a nyári nagycsapadékok következtében a kora nyári időszakban jellemzőek még a belvízi elöntések. A belvíz időbeni megjelenését –hasonlóan az árvizekhez– gyakran jellemzik a több hullámban jelentkező belvízhullámok. Ezek következtében sokszor akár 6-8 hónapos időtartamban is belvízi készültség fenntartás indokolt. A 3. ábra a belvízvédelmi fokozatok éven belüli megoszlását mutatja be.



3. ábra. A belvízi fokozatok havi megoszlása

Figure 3. Monthly distribution of excess water stages

Habár a belvíz előfordulása az 3. ábra alapján a két leginkább érintett időszakhoz köthető, azonban gyakorlatilag egyik hónap sem tekinthető belvízmentesnek. A belvízi veszélyeztetettség leginkább a mezőgazdasági művelésű területek hasznosítását akadályozza. A mezőgazdaságra gyakorolt hatása, jelentős mértékben a területhasználattól, illetve a természetett növényfajta fejlettségi fokától függ. A télvégi hosszú idejű belvízi elöntések jelentős károkat okoznak a mezőgazdaság számára, azonban az elöntött területeken a mezőgazdasági munkák késedelme miatti károkat sokszor jelentősen meghaladja –a közvetlen elöntéssel nem érintett– területeken a jelentős víztöbblet következtében keletkező terméstopplett. A mezőgazdaság szempontjából legkritikusabb a betakarítást megelőző időszak, hiszen ilyenkor a növényzet sokkal kevesebb ideig tartó elöntést képes elviselni. Ezek alapján megállapítható, hogy legkritikusabb belvízi időszak a május-június.

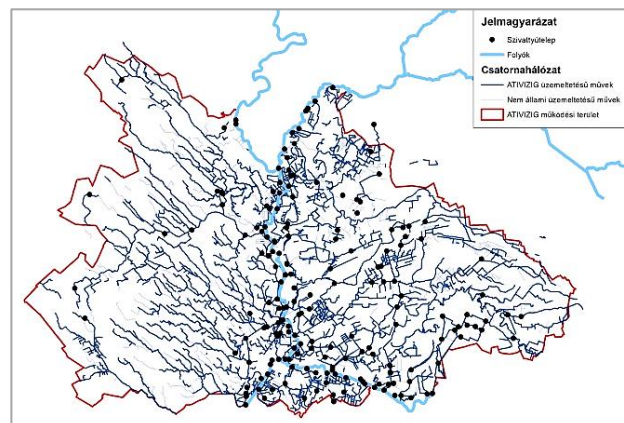
A belvíz a terület domborzati adottságai következtében a településeket is komoly kihívások elé állítja. Egyrészt a külterületekről érkező belvízi terhelésektől mentesíteni szükséges azokat. Másrészt a belterületeken keletkező belvizek, csapadékvizek elvezetését kell biztosítani. A belterületekről történő vízvezetés hatékonyságát jelentősen befolyásolta, a település csapadék csatorna hálózatának kiépítése, illetve annak aktuális állapota. A belvízi időszakok során több településnél bizonyosodott be, hogy a domborzati adottságokhoz nem kellő körültekintéssel megtervezett és kiépített belterületi csatornahálózat következtében keletkeztek belterületi elöntések. A települések esetében további, akár belvízi elöntésekkel járó problémákat okoztak, azon a nem kellően átgondolt lakóövezeti fejlesztések melyek során a korábban lefolyástalan belterületi ingatlanokat lakóingatlanokká nyilvánították. Ezeknél, sajnos

belvíz időszakonként visszatérő probléma, hogy a lakóingatlanok gyakorlatilag használhatatlanná válnak időszakosan.

Az alföldi térségek külterületi jellemzője a tanya szerkezet, amely hosszú évszázadok óta a táj sajátossága. A domborzati adottság következtében az ilyen lakóingatlanok is ki vannak téve a belvizeknek. Ezek mentesítése sokszor csak az ingatlan értékét többszörösen meghaladó költségbe kerülő műszaki beavatkozással valósítható meg.

A belterületek felértékelődésével, illetve gazdasági potenciáljuk fejlődésével a belvizeket elvezető rendszer egyre több terhelést kap, olyan vízvezetések formájában, amelyek korábban nem voltak jelen. Egyrészt a belterületek kiépülésével a csapadékvizek összegyülekezésével és elvezetésével a korábbinál nagyobb víztömegek érkeznek a belterületekről. A térség geotermikus adottságainak kiaknázásával jelentősen növekednek a termál csurgalékvíz bevezetések és az általuk szállított hozamok mind a belterületek, mind a külterületek vonatkozásában. A térség öntözővíz szállításában is jelentős szerepet töltenek be a belvízcsatornák, hiszen ezeken keresztül –folyásirányukkal ellentétesen– a műtárgyakkal létrehozott duzzasztások által történik az öntözővíz szolgáltatás. A rendszerek ilyen mértékű igénybevétele sokszor eredményezi, hogy a vízjogi engedélyekben nyilvántartott elvezetési kapacitás nem áll rendelkezésre, ami zavarokat eredményezhet az elvezetésben.

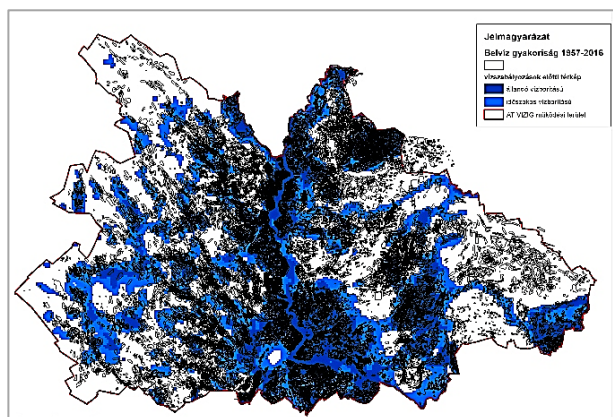
A térség belvizeinek elvezetését 6 734 km hosszú csatornahálózatból 4 662 km (70%) üzemeltetését végzi a Vízügyi Igazgatóság (4. ábra), míg 2 072 km (30%) csatorna önkormányzati, társulati, vagy magán kezelésben van. Az elvezető hálózat fajlagos kiépítettsége 16-26 l/s/km² kapacitású, de a nagy nemzetgazdasági jelentőséggel vagy belterületi érintettséggel rendelkező öblözeteknél ez nagyobb is lehet (pl.: a 38. számú Tápé-Vesszősi öblözet 60,88 l/s/km² fajlagos elvezető képességgel rendelkezik). Összesen 124 db szivattyútelepet üzemeltet az Igazgatóság 145,67 m³/s kapacitással. A belvizek kezelésében nagy jelentőséggel bírnak a tározók. A területen 25 db állandó tározó 4548,56 ha kiterjedéssel, illetve 38 db vízvisszatartásra alkalmas terület 3 052 ha kiterjedéssel áll rendelkezésre.



4. ábra. A belvíz elvezető rendszer és elemei
(Készítette: Vígh 2019.)

Figure 4. Drainage system and its elements
(Edited by Vígh 2019.)

Habár a vízvezető művek fejlesztése töretlenül folytatódott az 1980-as évek második feléig, a 2. ábra alapján megállapítható, hogy belvízi elöntések kialakulásában nem mutatható ki csökkenés a fejlesztések eredményeként. Amennyiben összevetjük a vízszabályozások előtti elöntött területeket (5. ábra) a belvízi gyakoriság térképével megállapítható, hogy az elöntések súlypontja jellemzően nem változott.



5. ábra. A vízszabályozási munkák megkezdése előtt időszakos vízborítás alatt lévő területek és a belvízgyakoriság térképe 1956-2015 között (Készítette: Benyhe 2019)

Figure 5. Map of temporarily flooded areas before the river regulations, and inland excess water frequency between 1956-2015 (Edited by Benyhe 2019)

A belvízi kitétség alapvetően a természeti földrajzi adottságokkal van kapcsolatban, hiszen a vízvezető rendszerek teljesítő képessége jelentősen korlátozva van a térség meglévő terepfelszín esései miatt. A vízvezető rendszerek terhelései a megváltozott területhasználati módok következtében növekednek. A rendszerek működési hatékonyságát jelentős mértékben lerontják azon dinamikusnak jelölhető üzemelési szituációk (pl. csekély vízszínes miatti visszaduzzasztások), melyek rendszer szintű elemzésére, a rendszerek tervezése során nem volt lehetőség, nagytérségi vízrendszerekben alkalmazható számítási eljárások hiányában. A jelenlegi rendszerek működési hatékonyságának növelése –a vízjogi engedélyekben rögzített kapacitásokig- csak a vízvezető rendszerek folyamatos fenntartásával lehetséges, amelynek költség igénye jelentősen meghaladja a jelenlegi forrásokat.

Amennyiben a belvízi veszélyeztetettség csökkentését kell megvalósítani, úgy nem nélkülözhető a vízgyűjtő szintű megközelítés. A jelenlegi vízrendszer kiépítésének alapja a vízgyűjtőre meghatározott területhasználati módok voltak. Ezek jellemzően a szocialista nagyüzemi termelés érdekei szerint kialakított földtulajdon szerkezetre, illetve a nagyüzemi mezőgazdasági termelési eljárásokra alapozva kerültek meghatározásra. Mivel a vízgyűjtő földtulajdon szerkezete és területhasználati módjai megváltoztak, így a vízvezető rendszer megváltozott igényekhez igazodó felülvizsgálata, és szükség szerinti átalakítására van szüksége, amely vizsgálatban a térségre kidolgozott klímaváltozási forgatókönyvekben rögzített meteorológiai változásokat is be kell építeni.

FOLYÓSZABÁLYOZÁS

A Tisza szabályozásának megindulása az 1833-ban Lányi Sámuel által megindított Tisza felméréshez (6. ábra), és Vásárhelyi Pál által 1845-ben kidolgozott Tisza szabályozási tervhez köthető.



6. ábra. A Tisza és a Maros folyó Szeged környéki szakaszának ábrázolása az I. katonai felmérésen 1763-1787 (<https://mapire.eu/hu/map/firstsurvey-hungary>)

Figure 6. Representation of the section of the Tisza and Maros rivers near Szeged on the 1st military survey 1763-1787 (<https://mapire.eu/hu/map/firstsurvey-hungary>)

A tiszai szabályozási munkák megvalósítása 1846-ban kezdődött meg országosan. Az Igazgatóság működési területén 1856-ban indultak meg a munkálatok, melyek 1889-re fejeződtek be. A munkálatok ezen szakaszában a túlfellett kanyarulatok átvágása történt meg 10 db átmetzés megvalósításával, amelynek következtében a folyó hossza 56,4 km-rel rövidült. A folyószabályozási munkákkal párhuzamosan a töltésépítési munkálatok is ütemesen folytatódtak. A századfordulótól 1945-ig a középvízi szabályozást gyakorlatilag csak a medervándorlások megakadályozása jelentette, főleg azokon a szakaszokon, ahol a folyó a töltés állékonyságát veszélyeztette.

A Maroson a szabályozás az 1850-es években indult meg a túlfellett kanyarulatok átmetszésével. A munkálatok keretében a Lippa – Maros torok közötti szakaszon 33 átmetzést hajtottak végre, melynek következtében a folyószakasz hossza 88 km-rel rövidült. A hajózás elősegítésére az Apátfalva-Maros torkolat közötti szakasz kisvízi szabályozását hajtották végre. A második világháborút követően 22 helyszínen építettek ki partbiztosításokat 19,41 km összhosszban.

A hajózási igények kielégítésére a XX. század első felében szükségessé vált a kisvízi szabályozás. Az első kisvízi szabályozásnak minősíthető munka a Tisza Maros torkolat alatti szakaszának rendezése volt, mely Malina Gyula irányításával valósult meg. A második világháborúig a Körös torkolat és Szeged közötti folyószakaszon 10 km hosszban végeztek gázló rendezést. A világháborút követően kezdtek meg az áttérést a rőzseművek helyett a kevésbé kézi munkaigényes terméskő alkalmazására. Az Igazgatóság működési területén jelenleg a Tiszán 40 db hosszirányú szabályozási mű 57, 829 km hosszban és 11 db keresztirányú mű, a Maroson 40 db hosszirányú szabályozási mű 24,4 km hosszban található. A művek 54 km-es szakasz teljes és 14 km-s szakasz részleges szabályozását biztosítják. A teljesség igénye nélkül az utóbbi 40 év jelentősebb folyószabályozási munkák az alábbiak voltak:

- 1975-76 között a Tiszasziget partbiztosítás,
- 1975. Újszegedi partbiztosítás megépítése,
- 1975-79. szegedi belterületi partbiztosítás,
- 1981-85. Szegedi Medencés Kikötő építése,
- 2010. Móra Ferenc híd kivitelezéséhez kapcsolódó partbiztosítási munkák megvalósítása,
- 2019-2021 Ferencszállási kanyarulat rendezése.

A Tisza Hármas Körös torkolati szakaszán bekövetkezett mederváltozások kezelésére az Igazgatóság komplex beruházási programot indított 1997-ben, mely során megállapítást nyert, hogy a két folyó összefolyása áramlási szempontból nem megfelelő. Ennek következtében a kanyarulatok nem állékonyak, káros erózió tapasztalható a partok mentén. A problémák kezelésére 5 ütemre bontva kisvízi terelőmű épült, illetve partvédő művek építésével stabilizálták a partvonalat.

A folyószabályozási művek megvalósítása nem fejeződik be a létesítmény megvalósításával, hiszen a beavatkozásra adott változásokat a folyó medrében figyelemmel kell kísérni, azokhoz igazodóan további intézkedéseket kell végrehajtani. Ehhez kapcsolódóan a folyószabályozási munkálatok folyamatos figyelemmel kísérésre és szükség esetén beavatkozásra van szükség. Jelenleg nagyszabású folyószabályozási program kerül megvalósításra, melynek eredményeként egyrészt 3 helyszínen (3. kép), 1,95 km összhosszban partbiztosítás megújításra kerül, másrészt a Maros folyó Ferencszállás térségében lévő veszélyes kanyarulat korrekciója valósul meg.



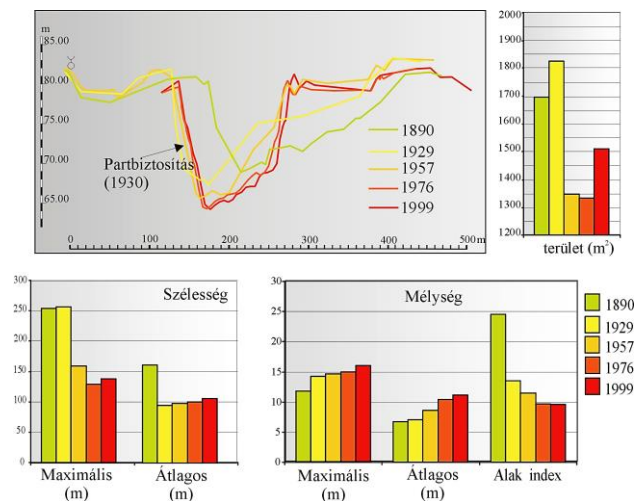
3. kép. A Tisza folyón Algyőnél elkészült partbiztosítás (Fotó: ATIVIZIG)

Picture 3. Shoreline stabilization prepared on the River Tisza near Algyő (Photo: ATIVIZIG)

A folyószabályozási művek kialakítása jelentősen befolyásolja a meder vízemésztő képességét. Az Alsó-Tiszán jelentős hosszban kerültek lekötésre a folyószakaszok szabályozási művekkel a folyó mindkét partján. A lefolyásban tapasztalható változások, valamint a kanyarulat átvágások, majd a kisvízi szabályozó művek hatására az Alsó-Tisza kanyarogva bevágódó mintázatúvá válik, ez a morfológiai formakincs szegényedésével, uniformizálódással jár. Ennek egyik bizonyítéka az övzátányok lassú eltűnése és csuszamlásokkal való felszabdálódása, továbbá a csuszamlások és omlások gyakoriságának növekedése, a rézsűk hajlásszögének emelkedése (Fiala 2006).

A szűk és bevágódó mederben a partbiztosítások tönkremenetele is egyre gyakoribb. A partvédő művekkel rögzített kanyarulatok domború ívei tovább épülnek, ezzel a középvízi meder folyamatosan szűkül és mélyül, amelynek egyik következménye a vízemésztő képesség csökkenése. Ezzel szemben a szabadon fejlődő partok alámosása hat, így több szakaszon az árvízvédelmi művek veszélyes közelségbe kerülnek az aktív mederhez. Az Alsó-Tisza mederszélességének változása szintén jól tükrözi az emberi beavatkozások hatását, a korábbi átlagosan 180 m széles meder napjainkra 100-120 m-re csökkent (7. ábra).

Az Alsó-Tisza szelvényeiben a mederszűkülés okozza az egyik problémát, amely maga után vonta az egyre medredebbe váló rézsűhajlásokat, aminek egyenes következménye a tömegmozgásos folyamatok gyakoriságának növekedése, amellyel morfológiai formaszegényedés is járt, azaz uniformizálódó medret eredményezett.



7. ábra. Partbiztosítással rendelkező középvízi meder paramétereinek alakulása (Készítette: Fiala K. 2006.)

Figure 7. Development of parameters of mean water stage riverbed with shoreline stabilization (Edited by K. Fiala 2006.)

A folyómedrek keresztmetszeti változásai alapján megállapítható, hogy a korábbi U-alak helyett a V-alak válik dominánssá (10. ábra), a domborúpartok folyamatos épülésével az árvizek levezetése szempontjából legfontosabb középvízi meder vízemésztő képessége jelentősen lecsökken.

Az Alsó-Tisza folyószakaszaival kapcsolatos legfontosabb feladat, hogy a középvízi medrekben tapasztalt keresztmetszvény csökkenési folyamatokat megállítsák a lerakódott mederüledék folyamatos kotrásával. Ennek a nélkülözhetetlen feladatnak jelenleg nem biztosítottak az anyagi feltételei.

FELSZÍNI ÉS FELSZÍN ALATTI VÍZMINŐSÉGI KÉRDÉSEK

Az Alsó-Tisza közvetlen vízgyűjtője vízkészlet-gazdálkodási szempontból különleges adottságokkal rendelkezik. Habár három folyó vízkészlete férhető hozzá, azonban a folyóvölgyektől távolodó térszíneken található felszíni vízkészletek csak időszakosan vannak jelen. A folyószakaszok jellemzően duzzasztottak, így azok hatásterületein a legszárazabb nyári hónapokban sem állnak elő vízhiányos helyzetek. A duzzasztási hatásterületeken kívül eső

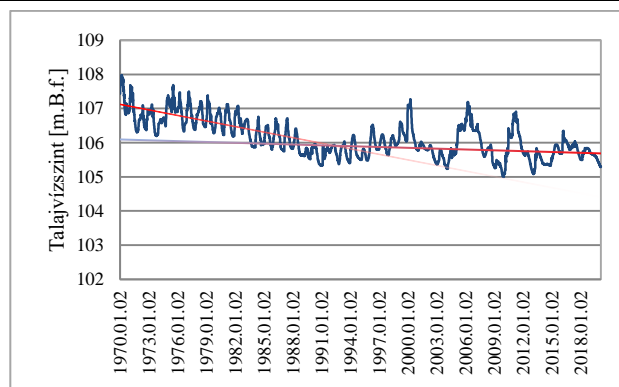
folyószakaszokon (pl. a Maros Makó feletti szakaszán) azonban a kisvízi időszakokban sokszor fordulnak elő rendkívül alacsony vízszintek. A térség felszíni vizeire jellemző, hogy azok minősége nem tekinthető egységesnek. A folyók esetében általában jók a vízminőségi mutató számai, jellemzően csak havária jellegű szennyezések során tapasztalhatóak kritikus értékek.

A holtágak vonatkozásában megállapítható, hogy eutróf jellegük erősödik, hiszen egyrészt a saját vízterükből, másrészt a vízgyűjtőkről nagymennyiségű szerves anyag/tápanyag terhelést kapnak. Emiatt a sűrűn alakulnak ki labilis vízállapotok, amelyek a nyári időszakokban különösen kritikusak. Ilyen körülmények között könnyedén következnek be oxigén hiányos helyzetek, amelyek az alacsonyabb, vagy akár magasrendű élőlények számára akár végzetesek is lehetnek. A kedvezőtlen állapotok kialakulását egyrészt a holtágakban felszaporodott szervesanyag terhelés csökkentésével, másrészt az oxigén tartalom növelését eredményező vízkormányzási technikák alkalmazásával igyekeznek biztosítani.

A felszíni vízelvezető csatornahálózatnak hasznosítható –összegyülekezésből származó– vízkészlete gyakorlatilag nincs. Ennek magyarázata, hogy a terület klimatikus adottságai kapcsán az éves lefolyást meghaladó mértékű is lehet a párolgás. A térség csatornáiban tapasztalható állandónak tűnő vízhozamok, jellemzően egyrészt felszín alatti készletek megcsapolásából, illetve a vízelvezető hálózat csatornáiba vezetett használtvizekből tevődik össze. Ezek minősége, jellemzően a bebocsátás függvénye, így azok minősége ingadozó lehet.

Felszín alatti vízkészletek közül legnagyobb mértékben a talajvizek voltak kitéve a felszíni területhasználatoknak. A kitétség egyrészt a mennyiségi igénybevételre terjed ki, hiszen ezen vízáadó készletét vették –és jelenleg is veszik– igénybe a legnagyobb mértékben, döntően jogszabályi kontroll nélkül. (A talajvízkészletek kitermelése jellemzően jelenleg jogszabályi és szakmai kontroll nélkül történnek, hiszen a létesített talajvízkutak nagytöbbsége engedély nélkül létesült.) A talajvizek kitétsége azok minőségére is kiterjed. A nagyszámú ellenőrizetlen műszaki állapotú vízkivétel potenciális szennyező forrásként gyakorol hatást a talajvizek minőségére. Ezen okból, illetve a mezőgazdasági területhasználatok következtében a talajvizek elszennyeződése jellemző. A talajvízszintek változása területi sajátosságokat mutat. A talajvízgörbék menetében jelentős süllyedés volt kimutatható az 1970-es évektől kezdődően a Duna-Tisza közti Hátsági területeken (8. ábra). Az ábrán piros színnel került feltüntetésre a süllyedési időszak, illetve a süllyedést követően előállt vízszintek idősoraira szerkesztett lineáris trend vonalak. Látható, hogy a mintegy 20 évre kiterjedő süllyedési időszakot követően a talajvízszintek új nyugalmi értékre állapodtak meg. Az azóta eltelt időszak alatt a talajvízszintek nem emelkedtek vissza a süllyedést megelőző szintekre.

A süllyedés okainak feltárására számos vizsgálatot folytattak le. A szakirodalmi vizsgálatok (Pálfai 2003) megállapították, hogy természeti és antropogén tényezők komplex hatására alakult ki a helyzet, melyben a természeti-klimatikus hatások dominálnak, azonban lokálisan az antropogén hatások is kimutathatóak (pl. szénhidrogén bányászat, vagy a talajvízkészletre alapozott öntözés).

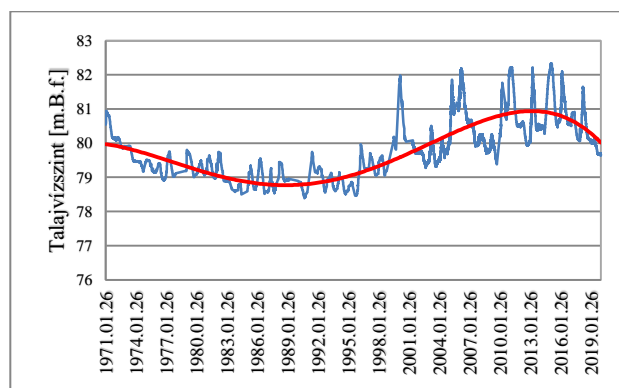


8. ábra. Talajvíz menetgörbe a Duna-Tisza közti Homokhátság területén elhelyezkedő talajkútban (Forrás: ATIVIZIG)

Figure 8. Shallow groundwater rating curve in a shallow well located in the Duna-Tisza Interfluve (Source: ATIVIZIG)

A süllyedést követően a klimatikus viszonyok változásai nem fordultak meg. Továbbra is jelentős vízhiányokkal kell megküzdeni. A terület népességmegtartó képességének egyik legfontosabb feltétele a vízhez jutás biztosítása a mezőgazdaság és az élőhelyek számára. A süllyedéseknek leginkább kitett Duna-Tisza közti Homokhátságon a legfontosabb feladat a területen képződött vízkészletek helyben tartása, amelyre a meglévő vízviszatarató műtárgyak üzemeltetésével, illetve új műtárgyak létesítésével törekszenek. A területen végrehajtott vízkészlet-gazdálkodási elemzések azt mutatják, hogy a talajvíz olyan jelentős mértékben lesüllyedt, hogy a vízgyűjtő felszíni vizeivel kapcsolat gyakorlatilag nem mutatható ki, a talajvízkészletek magasabb térszínnek alatt elhelyezkedő talajvízadóból kerülnek pótlódásra (Kozák 2019).

Az igazgatóság Tisza bal parti területein a talajvizek periodikus változása szintén jellemző, azonban azon térségekben olyan süllyedés, mely a talajvizek és a felszíni vizek elszakadása nem következett be (9. ábra).



9. ábra. Talajvíz menetgörbe a Tisza jobb parti területén elhelyezkedő talajkútban (Forrás: ATIVIZIG)

Figure 9. Shallow groundwater rating curve in a shallow well located in the right bank area of the Tisza (Source: ATIVIZIG)

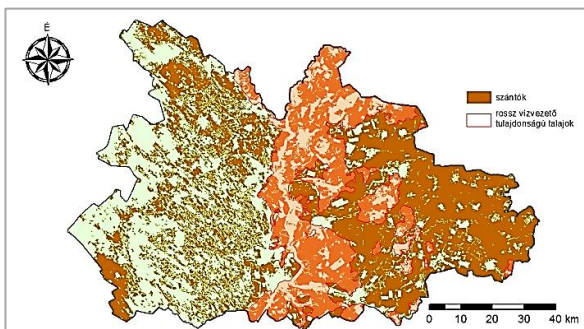
A mélyégi vízkészletek egyik legfontosabbika az ivóvizet biztosító réteg. A területen a közüzemi vízellátás rétegvizekre alapozottan valósul meg. Ezek mennyiségileg nem kockázatosak, illetve a minőségük védelméhez szükséges védőidom kijelölések megtörténtek. A kitermelt víz minősítése a hatályos jogszabályok alapján történik, azok változása miatt szükség volt az ivóvíz minőségét javító programok végrehajtására.

A termálvizek jelenléte a térség különleges adottsága, melynek kitermelése kulcsfontosságú a mezőgazdaság, illetve a közüzemi fűtőrendszerek telepítése szempontjából. A termálvízadók nagymértékű igénybevétele két részterületen hangsúlyos: a Szentesi termálvízadó rendszer és a Szegei termálvízadó területén (ezen a két területen valósul meg a hazai kitermelés ötöde). A szentesi térségben 1958-tól kezdődően kezdődtek meg a kutak kiépítése a területen, főleg mezőgazdasági felhasználásra, üvegházak fűtésére. Az eltelt idő alatt jelentős nyomáscsökkenés következett be a vízadókban, mert ezen a területen a kitermelt vízkészlet nem kerül visszasajtolásra (Szanyi 2015). A szegei rendszer esetében szintén regisztráltak vízszint csökkenést, azonban ez a szénhidrogén kitermeléssel hozható kapcsolatban. Megállapítható, hogy a termálvíz készletek tartós kitermelésének következtében bekövetkező nyomáscsökkenések miatt, a jövőben már csak a használt vizek visszasajtolása biztosíthatja a készletek hosszú távú hozzáférhetőségét.

Az Igazgatóság működési területén két helyen a felszín alatti víztestek határokkal történő megosztottsága miatt szoros együttműködés szükséges a határ menti partnerszervezetekkel. A Maros folyó hordalékkúpja átnyúlik Romániába, míg a Duna-Tisza közti Homokhátság felszín alatti vízadói Szerbia területén folytatódnak. Ezen határokkal osztott vízadók fenntartható igénybevétele csak a szomszédos országok összehangolt tevékenységével biztosítható hosszú távon.

MEZŐGAZDASÁGI VÍZSZOLGÁLTATÁS

A térség gazdasága számára mezőgazdaság fejlesztése elsődleges volt és jelenleg is a prioritások között szerepelt. A természeti adottságokhoz és a hagyományosan fejlett agrotechnikai hagyományokhoz kapcsolódóan a növénytermesztés, a szántóföldi (10. ábra), és a kertészeti környezetben nagy volumenű. Alkalmazkodva a felszíni morfológiai adottságokhoz a jelentős területű halastavakban folyik a haltermelés. Mindkét mezőgazdasági ágazat számára nélkülözhetetlen a megfelelő minőségű és mennyiségű öntöző-vízkészlet biztosítása.



10. ábra. Szántóterületek elhelyezkedése az ATIVIZIG működési területén (ATIVIZIG-VKGTT 2017)

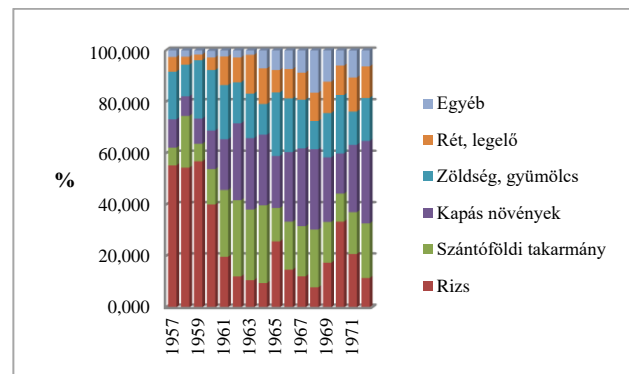
Figure 10. Location of arable lands in the operating area of ATIVIZIG (ATIVIZIG-VKGTT 2017)

A működési terület 80%-a természetes úton csak az öszszegyülekezésből származó időszakos vízkészletekből részesül, míg 20%-a látható el a kiépített öntöző rendszerek által.

A mezőgazdasági vízszolgáltatás volumene az 1960-as években kidolgozott vízgazdálkodási kerettervezés eredményeként kapott lendületet. Az I. kerettervezési időszakban 20 év alatt jelentős fejlesztéseket irányoztak elő jellemzően a Tisza bal partján, Szentese-Szarvas, Mindszent, Hódmezővásárhely térségében, a Maros jobb és bal partján, Mezőhegyes térségében, illetve a Tisza jobb partján

Levelény, Algyő és Gyála térségében. A földtulajdon szerkezet és a nagyüzemi termelőszövetkezetek kedvező környezetet biztosítottak a tervezett fejlesztések megvalósításához. A fellelhető legkorábbi adat szerint 1947-ben 776 hektárnyi terület került ellátásra, míg 1976-ra ez szám 40 336 ha lett. A fejlődés gyakorlatilag évente – az időjárási körülmények függvényében – folyamatosan növekvő öntözési volumen eredményezett, átlagosan 15 évente 20 000 ha-nyi növekménnyel. Az ilyen mérvű fejlesztés a nagyüzemi birtokviszonyokra alapozott mezőgazdasági termelés, illetve a központi irányított terfgazdálkodás eredményeként valósulhatott meg. Ezen csúcserték után az 1980-as évektől kezdődően az 1990-es évek elejére visszaesett 30 000 ha alá, és 2019-ig bezárólag sem emelkedett fölé. Habár az 1990-es évektől kezdődően a mezőgazdasági birtokszerkezet jelentősen megváltozott a korábbi nagyüzemi struktúra megszűnésével, az öntözött területek nagysága 20 000 és 30 000 ha között maradt.

A térségben az 1960-as évekig az öntözésben a rizstelepek ellátása dominált, meghaladta az összes ellátott terület 50%-át. Majd ezen ágazat jelentősen visszaszorult és a szántóföldi kultúrák öntözése vette át a vezető szerepet (11. ábra).

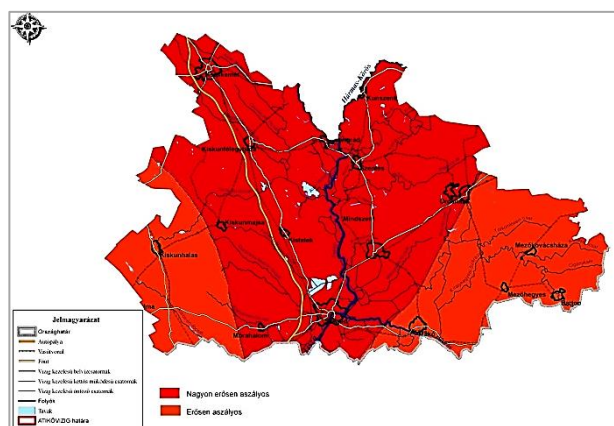


11. ábra. Öntözött mezőgazdasági kultúrák megoszlása 1957-1972 között (Forrás: ATIVIZIG)

Figure 11. Distribution of irrigated agricultural crops between 1957-1972 (Source: ATIVIZIG)

A rendszerekbe jutott vízmennyiségekről rendszeres adatszolgáltatás az 1990-es évektől áll rendelkezésre. Ezek alapján megállapítható, hogy csak a rendkívül aszályos esztendőkből emelkedik 80 millió m³ fölé a kiszolgáltatott víz mennyisége, ami átlagos években 30 millió m³-t tesz ki. A terület aszály érintettségét a 12. ábra szemlélteti.

A térségben működő kiépített öntöző rendszerek kihasználtsága eltérő. Van olyan rendszer, amely közel 100%-os kihasználtsággal üzemel (Maros balparti öntözőrendszer), de általánosságban megállapítható, hogy a rendszerek kihasználtsága az utóbbi 15 évben jelentősen visszaesett. Az öntözési igények többlet kielégítésére jelenleg 6 674 l/s áll rendelkezésre a már kiépített rendszerekben. A hatékony üzemeltetés biztosítása érdekében sürgető feladat a rendszerek kihasználtságának fokozása, hiszen ezáltal mérséklődhetnek a felhasználók által fizetett vízdíjak. Azokban az esetekben, amikor olyan helyen jelentkezik öntözési igény, ahol nem biztosított a főművi vízellátás, akkor a rendszerek fejlesztését kell végrehajtani. Jelenleg két ilyen fejlesztési terület van, egyrészt a Mezőhegyesi Ménesbirtok területére vonatkozóan készültek el fejlesztési tervek, másrészt a Duna-Tisza közti Homokhátság délkeleti lejtőjén megvalósítás alatt áll a Homokhát vízpótló rendszer.



12. ábra. A térség aszály érintettsége (ATIVIZIG-VKGT 2017.)
Figure 12. Drought affectedness of the region (ATIVIZIG-VKGT 2017)

A halastavi haltenyésztés kialakulása szorosan kapcsolódott a térség morfológiai adottságaihoz. A síkvidéki halastavak létrehozása a területen az 1930-as években kezdődött meg. A gazdálkodásra alkalmas területeken kialakított tógazdaságok teljes területe 3 100-3 400 ha között változott. A halastavak elhelyezkedésük és kialakításuk kapcsán jelentős szerepet töltenek be a térség belvízgazdálkodási feladataiban, hiszen a tározási kapacitásuk egy részét belvíztározóként is hasznosítják. A halastavak közül legnagyobb területtel 2 100 ha kiterjedésű Szegedi Fehértó rendelkezik. Napjaink egyik fontos kihívása, hogy a halgazdálkodási tevékenység során keletkező és lecsapolt vizek elvezetését hogyan lehet megoldani, a vízrendszerekben jelentkező öntözési igények biztosítása mellett.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az igazgatóság működési területének természeti és éghajlati adottságai kapcsán csak folyamatos munkával biztosíthatóak a társadalmi igények kielégítése. Akár az ár- és belvíz elöntések elleni védelmet, akár a megfelelő minőségű ivóvízadók védelmét, az aszálykárok megelőzése érdekében szükséges vízkészletek területre juttatását kell végrehajtani, jelentős hatástérrellel rendelkező, bonyolult irányítású infrastruktúra hálózatok működtetését kell biztosítani a vízügyi szakembereknek. Az éghajlati környezetben tapasztalt változásokhoz komplex módon kell változtatni a rendelkezésre álló vízügyi infrastruktúrát. A társadalmi elvárások a területhasználatok megváltozásához kapcsolódóan jelentős módosuláson mennek át. Folyamatosan fejlesztésekre, módosításokra van szükség. A határmenti elhelyezkedés különlegessége, hogy a feladatokat döntő része kapcsolatban áll a határokon túl elhelyezkedő vízgyűjtőkkel. Emiatt nemcsak a hazai területhasználati viszonyokra, az éghajlatváltozási tendenciákra, hanem a szomszédos országok területén végrehajtott vízgazdálkodási intézkedésekre is tekintettel kell lenni.

A SZERZŐ



KOZÁK PÉTER okleveles vízépítőmérnök. Tudományos fokozatát belvízgenetikai elemzésekhez kapcsolódóan készítette el a Szegedi Tudományegyetem Földtudományi doktori iskolájában. Tudományos tevékenysége az ár- és belvízi kockázatok kezelésével és mérséklésével kapcsolatos területi vízgazdálkodásra irányul. 1994-től az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság munkatársa, 2010-től igazgatója. 2007-től az Eötvös József Főiskola, illetve 2017-től a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Karának főiskolai docense, 2020-tól egyetemi adjunktusa.

Ezen elvárásokat csakis a hagyományok és az elődök munkájának teljes körű megismerésével, a vízgyűjtő változásainak és éghajlati környezetének folyamatos monitoringjával, illetve a rendelkezésre álló vízügyi tudományok magas fokú elsajátításával és alkalmazásával lehet teljesíteni. Így jártak el a területen korábban tevékenykedő vízügyi szakemberek és korunk vízgazdálkodóinak is ez a kötelessége.

IRODALOMJEGYZÉK

- Dövényi Z. (2010). Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
- Fiala K., Kiss T. (2006). A középvízi meder változásai az 1890-es évektől az Alsó-Tiszán II. Hidrológiai Közlöny, 86. évf. 5. szám, pp.13-17.
https://library.hungaricana.hu/en/view/SZAK_DUNA_Muzealis_1831_Beszedes/?pg=0&layout=s.
- GWP (2015). Integrált vízgazdálkodás kelet- és Közép Európában. Technical Focus Paper. ISBN: 978-968-12-5983-4.
- Kozák P. (2019). Felszíni lefolyások változása a Duna-Tisza közti Homokhátság dél-keleti lejtőjén a klímaváltozás tükrében Kézirat
- OVF (1964). Országos Vízgazdálkodási Kereterv. Budapest, 1964. Országos Vízügyi Főigazgatóság.
- OVH (1984). Országos Vízgazdálkodási Kereterv. Budapest, 1984. Országos Vízügyi Hivatal.
- Pálfai I. (2003). A Duna-Tisza közti Homokhátság vízhiányának leküzdése. Szlávik Lajos: Belvizek és aszályok Magyarországon. Közlekedési dokumentációs Kft. ISBN 963 552 382 3, pp.409-414.
- Szanyi J. (2015). Szakértői vélemény a vízgyűjtő-gazdálkodási terv alföldi porózus vízadókkal foglalkozó fejezetéhez. Kézirat.
- Vágás I. (1982). A Tisza árvizei, Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet, ISBN 963 602 229 1.
- VKI (2000). Az Európai Parlament és a Tanács 2000. október 23-i 2000/60/EK Irányelve.
- VKI Kurca (2016). Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 2-19 Kurca alegység, Alsó-Tisza vidéki Vízügyi Igazgatóság <https://docplayer.hu/7854379-A-2-19-kurca-alegység.html>
- VKI Maros (2016). Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 2-21 Maros alegység, Alsó-Tisza vidéki Vízügyi Igazgatóság <https://adoc.tips/a-2-21-maros-alegység.html>
- VKI Tisza (2016). Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 2-20 Tisza jobb part alegység, Alsó-Tisza vidéki Vízügyi Igazgatóság <https://adoc.tips/2-20-also-tisza-jobb-part.html>
- VKGT (2017). Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság Vízkészlet-gazdálkodási Térségi Terv. Kézirat.

Tíz évvel „Zsófia” és „Angéla” után - Rendkívüli hidrometeorológiai és vízkárelhárítási események 2010-ben

Szlávik Lajos

Professor Emeritus, egyetemi magántanár, a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke

Kivonat

A 2010. évet hidrológiai szempontból mindenképpen „rendkívülinek” kell minősíteni. Húsz napon belül kétszer vonult át felettünk nagy csapadékot okozó, lassan mozgó ciklon: „Zsófia” és „Angéla”, amelyek döntő szerepet játszottak számos kisvízfolyásunkon, folyónkon példátlanul heves árhullámok kialakulásában, belvizek megjelenésében, jelentős elöntések létrejöttében.

Korábban nem tapasztalt hidrometeorológiai helyzet alakult ki elsősorban Észak-Magyarországon, a Bakonyban és a Mecsekben. Ezekben a vidékeken kisvízfolyások száza döntöttek meg korábbi hidrológiai rekordokat. A Dunán az árhullám az addigi észlelési adatsor harmadik, negyedik legnagyobb tetőzési szintjét eredményezte. A Tisza, Tiszapalkonya alatti szakaszán, egészen Kisköréig, a folyó eddigi második legmagasabb árhulláma alakult ki. Meg kellett nyitni a Tiszaroffi árvíz tározót. LNV feletti szintekkel tetőzött a Kapos, az Ipoly, a Zagyva, a Takta, a Sajó, a Bódva és a Hernád. Kétszer is fel kellett tölteni a Jászteleki és a Borsóhalmi víztározókat. A Kormány két esetben is veszélyhelyzetet hirdetett, rendkívüli készültségeket rendeltek el. 225 ezer hektárt borított a júniusi, tenyészidőszaki belvív, év végére az elöntött terület 335 ezer hektár volt.

Kulcsszavak

Ciklon, árvíz, árvízvédekezés, árvízi veszélyhelyzet, rendkívüli készültség, belvív, belvívvédekezés, helyi vízkárelhárítás, önkormányzati védekezés, víztározás, lokalizálás, kitelepítés, vízvisszavezetés.

Ten years after "Zsófia" and "Angéla" - Extraordinary hydrometeorological and water damage prevention events in 2010

Abstract

The year 2010 must be described as "extraordinary" from a hydrological point of view. Within twenty days, two slow-moving cyclones passed over us, called "Zsófia" and "Angéla", which played a decisive role in the formation of unprecedented violent floods, the appearance of inland waters and the formation of significant floods on many of our small water courses.

An unprecedented hydrometeorological situation has developed mainly in Northern Hungary, the Bakony and the Mecsek. Hundreds of small watercourses in these regions have broken previous hydrological records. The flood wave on the Danube resulted in the third and fourth largest peak levels of the previous observation data series. In the section of the Tisza below Tiszapalkonya, all the way to Kisköré, the second highest flood wave of the river has formed so far. The Tiszaroff flood reservoir had to be opened. Kapos, Ipoly, Zagyva, Takta, Sajó, Bódva and Hernád rivers peaked at levels above LNV (H_{max}). The Jásztelek and Borsóhalmi emergency reservoirs had to be filled up twice. In two cases, the Government declared a state of emergency and ordered emergency preparedness. 225 thousand hectares were covered by inland water during the growing season in June, and by the end of the year the flooded area was 335 thousand hectares.

Keywords

Cyclone, flood, flood control, flood emergency, emergency preparedness, inland water, inland water protection, local water damage prevention, municipal protection, emergency storage, localization, evacuation, water return.

IDŐJÁRÁSI HELYZET

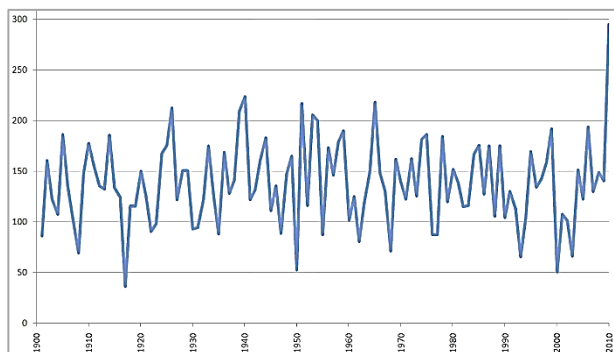
A hazánk térségében árhullámokat okozó nagymennyiségű csapadék többnyire ciklon centrum helyzetéhez és vonuló mediterrán ciklonokhoz kapcsolódik. Az ilyen típusú időjárási helyzetek a téli félévben gyakrabban, nyáron ritkábban fordulnak elő. Nyári előfordulásuk idején ugyanakkor nagyobb mennyiségű csapadékot okoznak, tekintettel arra, hogy ekkor a magasabb kihullható vízmennyiség és a labilis rétegződés kedvezőbb feltételeket teremt a heves csapadék-tevékenységnek. 2010. május-júniusban szokatlan módon kétszer egymás után vonult át felettünk nagy csapadékot okozó, lassan mozgó ciklon: „Zsófia” május 15-18., „Angéla” május 31-június 4. között. A két ciklon döntő szerepet játszott a rendkívüli készültséget okozó árhullámok kialakulásában, és a jelentős elöntések, belvizek megjelenésében.

CSAPADÉKVISZONYOK

2010. májusa és júniusa kiugróan csapadékos volt, a két hónap alatt országos átlagban 294 mm hullott. Ekkora

mennyiségű csapadék — 1900 és 2010 között — két hónap alatt még nem fordult elő hazánkban (*1. ábra*). Ugyanerre az időszakra vonatkozóan a második legcsapadékosabb év 1940, ekkor az országos átlagot tekintve 70 mm-rel esett kevesebb. A szinte folyamatos csapadéktevékenységre jellemző, hogy májusban és júniusban mindössze 13 olyan nap volt, amikor a lehulló csapadék mennyisége az országban nem érte el valahol az 5 mm-t.

A meteorológiai jelenségek névadása nem új keletű dolog. Amerikában már az 1950-es évektől női neveket adnak a hurrikánoknak. 2010-ben az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) H. Bóna Márta meteorológus (1944-2011) adott két női nevet egy-egy hazánkban megjelenő ciklonnak. Mégpedig azért pont ezeket a neveket, mert a május 15-én és 31-én jelentkező lassú mozgású frontok *Zsófia*, illetve *Angéla* napján törtek be az országba és váltak aktívvá hazánk felett. (Ez eleinte az OMSZ belső elnevezése volt, de később a nyilvánosságban is elterjedt) (*Ujváry 2010*).



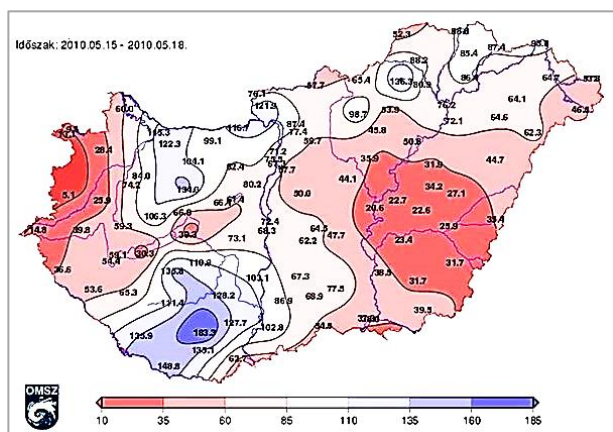
1. ábra. A május-június havi magyarországi átlagos csapadék-összegek idősora (1900-2010)

Figure 1. Time series of average precipitation amounts in Hungary in May-June (1900-2010)

A „Zsófia” ciklon

2010. május 15. és 18. között rendkívül erős és hosszantartó vihar pusztított Magyarországon, illetve a Kárpát-medencében. A májusi vihart alapvetően szinoptikus skálájú (több napig fennmaradó és több száz kilométer kiterjedésű) folyamatok váltották ki. Az Országos Meteorológiai Szolgálat az alkalmazott modelljével nagy pontossággal jelezte előre a ciklon fejlődését és áthelyeződését (Ujváry 2010).

A május 15. 06 UTC – 18. 06 UTC között lehullott csapadék mennyisége jelentős volt, a Dunántúlon nagy területen a 100 mm-t is meghaladta. (2. ábra). (UTC – a koordinált világidő: az a hivatkozási időzóna, amelyhez a Föld többi időzónáját viszonyítják. Az UTC a greenwichi közép-idejt (GMT) váltotta 1961-ben. Európa nagy része – így hazánk is – a nyári időszámítás idején az UTC+1 időzónában van.) Májusban az átlagos országos csapadékösszeg 62 mm volt, így egyes területeken a havi csapadékhozam kétszeresét, háromszorosát is mérték. A háromnapos csapadékhozam rekordot hozott, a 200 mm-t is meghaladta (Bakonyszücs Körishegy 241,2 mm, Bakonybél 223,8 mm). Májusban az eddigi legnagyobb háromnapos csapadékösszeg 154 mm volt (1991. május 17-19., Sopron).



2. ábra. A „Zsófia” ciklon csapadéktérképe (A 15.05.2010. 06 UTC és 18.05. 06 UTC között lehullott csapadék összege, mm) (Ujváry 2010)

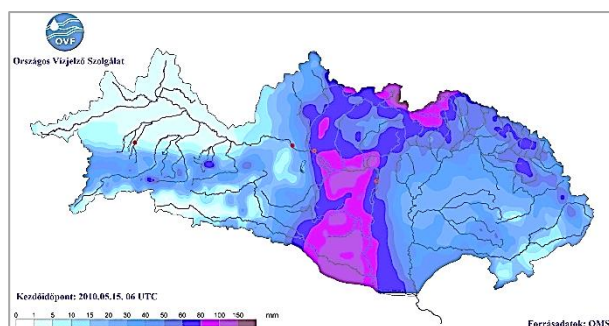
Figure 2. Precipitation map of cyclone “Zsófia” (Sum of precipitation between 15.05.2010 UTC and 05.18.06 UTC, mm) (Ujváry 2010)

A vihar egy mediterrán ciklogenezis következménye volt, amelynek során rendkívül gyorsan, kb. 12 óra alatt

jött létre egy markáns struktúrával rendelkező alacsony-nomású képződmény, amelynek középpontja Itália déli része felett helyezkedett el május 15-én 00 UTC-kor. A gyorsan mélyülő ciklon centruma 12 órával később már az Adriai-tenger partjai fölé került. Május 15-ről 16-ra a ciklon centruma Magyarország fölé helyeződött át, tovább mélyült, azonban az áthelyeződés lelassult. A ciklon pusztító hatásának legfőbb oka az volt, hogy hosszú ideig tartózkodott a térségünk fölött (Ujváry 2010, Horváth és társai 2010a).

A május 15-18-i időjárás mind a csapadék, mind a szél szempontjából rendkívüli volt, hiszen sorra dőltek meg az ezekkel kapcsolatos különböző időjárás rekordok. Egy-két, sőt egyes helyeken háromhavi csapadékmennyiség hullott a négy nap alatt, és erős szél tombolt az ország egész területén (Konkolyné és társai 2010).

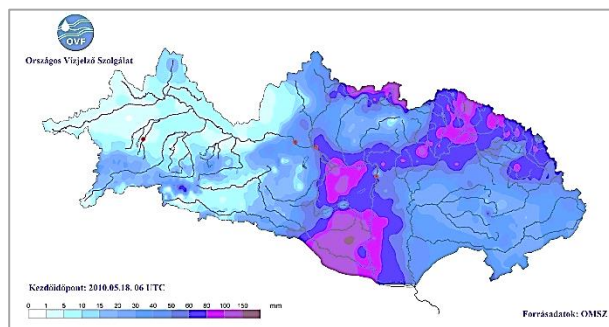
Az OMSZ május 15-én 06 UTC-kor a Duna vízgyűjtőjére kiadott 72 órás csapadék előrejelzését az 3. ábra tartalmazza.



3. ábra. 72 órás csapadék előrejelzés a Duna vízgyűjtőjére (mm). Készült: 2010.05.15. 06 UTC (Szlávik 2013)

Figure 3. 72-hour precipitation forecast for the Danube basin (mm). Created: 15.05.2010. 06 UTC (Szlávik 2013)

A 4. ábra bemutatja a Duna-medence csapadéktérképét az előrejelzett időszakra. Az 3. és 4. ábra összevetése jól szemlélteti a csapadék-előrejelzés területi beválását.



4. ábra. A Duna-medence csapadéktérképe (2010.05.18-án 06 UTC-t megelőző 96 órában lehullott csapadék, mm-ben) (Szlávik 2013)

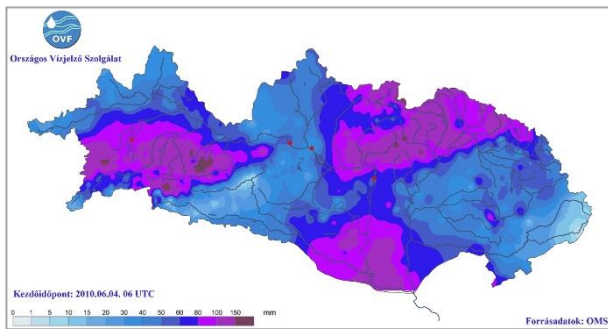
Figure 4. Precipitation map of the Danube basin (precipitation in the 96 hours before 06 UTC on 18.05.2010, in mm) (Szlávik 2013)

A rendkívüli készütséget okozó árhullámok kialakulásához, jelentős elöntések, belvizek megjelenéséhez hozzájárult május első felének csapadéktevékenysége, a talaj telítéshez közeli, vagy telített állapotban volt, amely miatt a kritikus három nap csapadékát a talaj, illetve a folyómedrek már csak részben tudták befogadni.

Az „Angéla” ciklon

„Zsófia” már sokfelé kritikus helyzetet teremtett, főként az északkeleti vízgyűjtőkön. A május 18–29-ig tartó időszak során sekély ciklonális mezőben magas kihullható vízmennyiséggel rendelkező, labilis légállapotú levegő alakította időjárásunkat, heves záporok, zivatarok fordultak elő. Ezek folyamatosan magasan tartották a talajvízszintet, és egyes körzetekben heves villámáradásokhoz is vezettek.

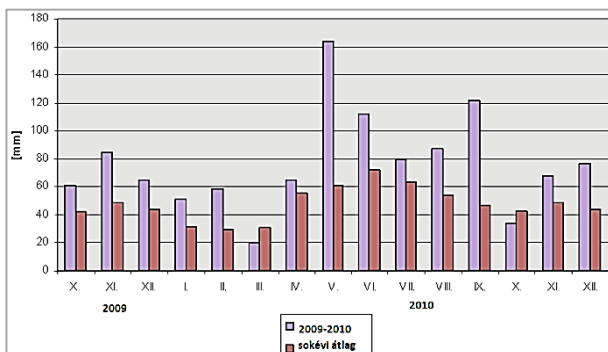
2010. május 31-én, közel két héttel a Zsófia ciklon után egy újabb, jelentős csapadékot okozó ciklon, „Angéla” érte hazánkat. A ciklon június 5-én hagyta el térségünket, lassú mozgása során főként a Dél-Dunántúlon és a Kárpát-medence északkeleti részén hullott néhány nap alatt 80–140 mm eső (Ujváry 2010, Horváth és társai 2010b). Az „Angéla” ciklon ugyan már nem hozott olyan kiugró csapadékmennyiségeket, mint „Zsófia”, de ekkor már nem csak a folyók vízszintje volt kritikuson magas, hanem a talajok telítettsége is. „Angéla” pusztítása tehát az előzmények miatt lett jelentős. Az 5. ábra bemutatja a Duna-medencében a június 4-én 06 UTC-t megelőző 144 órában lehullott csapadékot.



5. ábra. A Duna-medence csapadéktérképe (2010. június 4-én 06 UTC-t megelőző 144 órában lehullott csapadék, mm-ben) (Szlávik 2013)

Figure 5. Precipitation map of the Danube basin (precipitation in 144 hours before 06 UTC on 4 June 2010, in mm) (Szlávik 2013)

2009-ben az aszályos nyarat követően októbertől a sokéves átlagnál jóval több csapadék érte Magyarország területét. A 6. ábra szemlélteti a 2009. októbere és 2010. decembere közötti időszakban lehullott országos havi csapadékösszegeket, a sokéves átlagértékekhez viszonyítva. A 15 hónapból 13-ban a vizsgált időszak havi országos átlagcsapadéka meghaladta a sokéves átlagot. A teljes 15 hónapos időszakban lehullott csapadék összege (1149 mm) a sokéves átlagot 433 mm-rel (60%-kal) haladta meg.



6. ábra. Havonkénti csapadékösszegek Magyarországon (2009.X.-2010.XII.) (Szlávik 2013)

Figure 6. Monthly precipitation amounts in Hungary (2009.X.-2010.XII.) (Szlávik 2013)

HIDROLÓGIAI HELYZET

A „Zsófia” ciklon hatására kialakult csapadékok május második dekádjában hazánkban a Mecsek, a Bakony és az Északi Középhegység területén, továbbá Szlovákia keleti vízgyűjtőin az addig alacsony mederteltségű kis- és közepes vízfolyásokon heves árhullámokat indítottak el.

A Tisza mellékvizei közül szinte egyszerre kezdett intenzíven áradni a Kraszna, a Szamos, a Bodrog, a Sajó, a Hernád, a Bódva, a Takta, valamint a Zagyva és a Tarna. Kisebb mértékben, de megindult a vízszintemelkedés a Körösökön és a Maroson is. A Duna hazai mellékvizei közül a Bakony északi patakjai áradtak meg hirtelen, az Ipolyon annak mellékvizei okoztak árhullámot. A Kaposon és több, Mecsek-környéki kisvízfolyáson előfordult, hogy egy nap alatt mintegy 3 m-t emelkedett a vízszint.

A folyók, vízfolyások nagyvizeinek egyik fontos mutatója a vízmércén a vizsgált évig bezárólag előfordult legmagasabb vízállás, az „LNV”. Az árhullámok nagyságára jellemző volt, hogy az országos hidrológiai észlelőhálózatba bevont 10 vízfolyásunk 14 mérőállomásán mértek „rekordot” (LNV), és a vízállások még több állomáson közelítették meg az ott érvényes korábbi maximumot (1. táblázat). Ezek az árhullámok a befogadó nagy folyókon (Duna, Tisza) még nem okoztak jelentősebb vízszintemelkedést.

Ezt követően mintegy két héttel érkezett az „Angéla” ciklon, melynek csapadéktevékenysége (nagyjából ugyanazokon a területeken) újabb árhullámokat okozott. Mivel a medrek sok helyen még nem ürültek ki, a második árhullám hatására 8 vízfolyáson most már 17 állomáson mértek LNV-t meghaladó vízállást (9 állomáson éppen a két héttel korábbi LNV dőlt meg újra). A Hernádon például három napon belül kétszer is a korábbi LNV-t meghaladó vízállások alakultak ki. Összesítve 2010-ben 7 folyó és 5 kisebb vízfolyás összesen 23 szelvényében születtek új vízállás „csúcsok”. 12 szelvényben „dupláztak” a folyók: néhány hét, esetleg csak néhány nap elmúltával újabb LNV-k alakultak ki. Az új vízszintek helyenként ugyan csak néhány centiméterrel haladták meg a korábbi maximumokat, de több helyen 30–50, sőt 115 cm-rel is felülmúlták azokat. Az LNV-t meghaladó legnagyobb vízállásokat az 1. táblázat tartalmazza.

Ezeken túlmenően Észak-Magyarországon, a Bakonyban és a Mecsekben a kisvízfolyások százai döntöttek meg korábbi hidrológiai (vízszint és vízhozam) maximumokat. A hazai folyók árvizeinek történetében szinte példátlan, hogy egy-egy évben ilyen sok helyen és ilyen mértékben dőljenek meg a korábbi vízállás „rekordok” és azok ráadásul elsősorban csak kisebb folyókat, vízfolyásokat érintsenek.

Az „Angéla” ciklon következményeként már a mellékvizekből érkező árhullámok a Dunán is és a Tiszán (elsősorban annak középső szakaszán) is jelentős vízszintemelkedést okoztak.

A Dunán egy rövid lefolyású árhullám vonult le, amely azonban a fontosabb hazai szelvényekben az addigi észlelési adatsor 3–4. legnagyobb tetőzési szintjét eredményezte (2. táblázat).

1. táblázat. A 2010. május-júniusi rendkívüli vízjárás helyzetben megdőlt LNV szintek
Table 1. Exceeded LNV (H_{max}) in the May-June 2010 emergency water regime situation

Vízfolyás	Vízmerce	LNV érvényes		LNV + (1)			LNV + (2)		
		H [cm]	idő	H [cm]	idő	Δ [cm]	H [cm]	idő	Δ [cm]
Ipoly	Ipolytarnóc	410	2009.12.26	411	2010.05.17	1	432	2010.06.04	22
	Nógrádszakál	371	1976.12.03	391	2010.06.04	20			
	Balassagyarmat	446	1976.12.04	474	2010.06.05	28			
	Ipolytölgyes	563	1999.06.24	611	2010.06.06	48			
Cuha-Bakony-ér	Bakonybánk	200	1999.04.27	315	2010.05.16	115	300	2010.06.02	100
Kapos	Kurd	459	1998.05.05	464	2010.06.06	5			
Takta	Taktaföldvár	342	2006.06.05	378	2010.05.18	36	410	2010.06.05	68
	Kesznyéten-külső	656	2000.04.12	670	2010.06.08	14			
Sajó	Sajópuspöki	400	1974.10.22	416	2010.06.05	16			
	Sajószentpéter	390	1974.10.22	402	2010.05.17	12	406	2010.06.05	16
Bódva	Hídvégárdó	281	1999.13.06	305	2010.05.17	24	333	2010.06.04	52
	Szendrő	286	1974.10.22	291	2010.05.18	5	325	2010.06.05	39
Hernád	Hidasnémeti	434	2006.06.05	478	2010.06.03	44	503	2010.06.06	69
	Gibárt	505	2006.06.05	542	2010.06.04	37	555	2010.06.06	50
	Gesztely	474	2006.06.07	517	2010.06.04	43	507	2010.06.06	33
Zagyva	Apc	365	1999.07.13	388	2010.05.18	23	371	2010.06.02	6
	Pásztó	422	1975.04.11	432	2010.05.17	10			
	Hatvan-alsó	419	1999.07.12	473	2010.05.18	54	465	2010.06.03	46
	Szentlőrincváta	344	1999.07.12	359	2010.05.18	15	356	2010.06.03	12
Surján	Szentbalász	282	2005.03.28	288	2010.05.17	6			
Hábi csat.	Csikóstöttös	320	1999.06.23	326	2010.05.17	6			
Bükkösi víz	Hetvehely	148	2005.06.12	178	2010.05.16	30			
Villány-pog. vf.	Villány	93		118	2010.05.18	25			

2. táblázat. A 2010. évi árhullám sorrendisége a dunai árhullámok sorában

Table 2. The sequence of the 2010 flood wave in the series of Danube flood waves

Szelvény	1965.	2002.	2006.	2010.	A 2010. évi árhullám sorrendisége
	évi árhullámok tetőző vízállása (cm)				
Nagybajcs	785	872	759	729	4.
Gönyű	787	832	728	704	4.
Komárom	782	801	781	752	4.
Esztergom	740	771	766	742	4.
Nagymaros	682	707	714	683	3.
Budapest	845	848	860	827	4.
Baja	976	943	952	947	3.
Mohács	984	925	931	925	3-4.

A Tiszán mindkét ciklon elindított egy-egy árhullámot. Ezek tetőző szintje Tiszabecs és Vásárosnamény között alig érte el, illetve haladta meg az I. árvízvédelmi készültségi fokozat szintjét; Záhony-Tiszabercel között a II. és III. fokozat között volt, Tokajtól azonban már a III. fok felett alakult és Kiskörétől a két árhullám már gyakorlatilag egymásra futott, összeolvadt (3. táblázat).

A Sajó-Hernád és a Felső-Tisza árhulláma Tiszapalkonyánál találkozott egymással. Az árhullám maximuma ebben a szelvényben csak 8 cm-rel maradt el a legnagyobb vízállástól (LNV = 806 cm). Az árhullám különlegességét mutatja, hogy a Sajó-Hernádról érkező vízhozam nagyságrendileg hasonló volt a Felső-Tiszáról érkezővel. Hernádon, Hidasnémetinél 909 m³/s, Gesztelynél 864 m³/s, a Sajón, Sajószentpéternél pedig 540 m³/s vízhozamot mértek.

Ekkora vízhozamot a Sajó torkolatánál még nem regisztráltak. Ennek hatására a Tisza, Tiszapalkonya alatti szakaszán, egészen Kisköréig, a folyó eddigi második legmagasabb árhulláma alakult ki. A tiszai árhullám ehhez hasonló felépülését utoljára 1974-ben figyelhetjük meg. Abban, hogy nem alakult ki magasabb árhullám a Tiszán, nagy szerepe volt a június 5-14. közötti forró, száraz 10 napnak. Ha ezen a másfél héten is esett volna az eső, a Tiszán is új LNV értékek alakulhattak volna ki.

Ki kell emelni a Közép-Tisza 2010. évi árvizének két sajátosságát:

- 1998. óta, 13 éven belül, immáron hatodszor fordult elő olyan szélsőségesen magas vízállás a Közép-Tiszán, ami a Vásárhelyi Terv Továbbfejlesztése (VTT) programjának a kidolgozását és útjára indítását indokolta. Ez igen magas előfordulási gyakoriság.
- A 2010. évi árvíz vegetációs időszakban alakult ki és vonult le. A 2010. évi közép-tiszai árhullám különlegessége, hogy III. fokú készültségi szintet meghaladó nyári árhullám itt utoljára 30 évvel ezelőtt, 1980-ban fordult elő. Vízhozammérések igazolják, hogy a Tisza középső szakaszán ugyanaz a vízhozam mintegy 100 cm-rel magasabb vízállást eredményezett, mint a kora tavaszi időszakban. Ez még az eddigi megállapításoknál is hangsúlyosabban emeli ki, hogy a nagyon magas vízállásoknak a legfőbb oka – a nagyvízi meder – a főmeder és a kétoldali hullámtér – vízszállító-képességének a rendkívüli mértékű leromlása. Erre a vegetációs időszakban levonuló árhullámnál még nem volt tapasztalati adat.

3. táblázat. A 2010. évi tiszai árhullámok tetőző vízállásai
Table 3. The peak water levels of the 2010 Tisza floods

Szelvény	LNV (cm)	Év	2010. évi 1. árhullám		2010. évi 2. árhullám	
			Tetőző vízállás (cm)	Időpont	Tetőző vízállás (cm)	Időpont
Tiszabecs	736	2001	238	05.17.	222	06.04.
Tivadar	1014	2001	537	05.22.	467	06.05.
Vásárosnamény	943	2001	741	05.22.	618	06.06.
Záhony	758	2001	599	05.23.	496	06.06.
Dombrád	890	2000	701	05.23.	616	06.07.
Tiszabercel	882	2000	760	05.24.	711	06.08.
Tokaj	928	2000	809	05.26.	814	06.08.
Tiszadob	784	2000	668	05.26.	752	06.09.
Tiszapalkonya	806	2000	699	05.27.	798	06.09.
Tiszakeszi	811	2000	687	05.27.	796	06.09.
Tiszadorogma	883	2000	755	05.28.	863	06.10.
Kisköre	1030	2000	873	06.01.	991	06.11.
Tiszaroff	1088	2000			1030	06.14.
Szolnok	1041	2000			954	06.14.
Csongrád	1034	2006			870	06.18.
Szeged	1009	2006			838	06.26.

A két ciklont követő időszakban is gyakran alakultak ki heves záporok, zivatarok, melyek következtében a korábbi árhullámokat több vízfolyáson követte egy harmadik is, mely azonban már alacsonyabb volt az előzőeknél.

Az egymást követő árhullámok a vízfolyások alsó szakaszain, illetve a befogadókon további vízszintemelkedést általában már nem okoztak, azonban az egyes árhullám tömegek összedodásának hatására a már kialakult magas vízszintek rendkívül tartósnak bizonyultak.

A korábbi LNV-t meghaladó vízszint leghosszabb ideig a Taktán (Taktaföldvár – 10 nap) és a Bódván (Hídvérgárdó – 9,5 nap) fordult elő. III. fokot meghaladó vízszint volt 52 napon keresztül a Kaposon Kurdnál. Az egyesült tiszai árhullám helyenként 46 napos I. fok feletti tartósságot eredményezett.

A rendkívüli hidrológiai helyzet hatalmas feladatot rótt a környezetvédelmi és vízügyi igazgatóságok (KÖVIZIG-ek) vízrajzi egységeire, a vízhozammérő csoportokra. Mind a 12 igazgatóság területén folytak mérések. A vízhozammérőket számos esetben kirendelték a társigazgatóságokhoz is. Ilyen feszített mérési programra korábban nem igen volt példa. Két hónap alatt 189 vízfolyás 394 szelvényében összesen 1480 mérést végeztek el. Az adatok az árvízvédekezések irányítása mellett fontos információ-bázist jelentenek a hazai kisvízfolyások vízjárásai sajátosságainak kiértékeléséhez. Számos esetben sikerült megmérni a vízmérce szelvényében a vizsgált évig bezárólag előfordult legnagyobb átfolyt vízhozamot (LNQ) is.

ÁRVÍZVÉDEKEZÉSI INTÉZKEDÉSEK ÉS TEVÉKENYSÉGEK

2010. május-júniusában sokrétű, nagy területet érintő árvíz- és belvízvédekezési feladatokat kellett megoldani a

vízügyi szervezet szakmai irányításával a védelmi munkákba bekapcsolódó közreműködő szervezeteknek.

Az árvíz- és belvízvédekezések szervezeti háttérben lényeges változás történt: az Országgyűlés 2010. május 29-én elfogadta a Magyar Köztársaság miniszteriumainak felsorolásáról szóló 2010. évi XLII. törvényt. A kormányváltással összefüggésben 2010. május 29-től megváltozott a vízgazdálkodás kormányzati irányítása. A törvény megszüntette a 2002 óta működő Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztériumot (KvVM) és eddigi tevékenységét a Vidékfejlesztési Minisztérium (VM) feladatkörébe utalta. A környezetvédelmi és vízügyi igazgatóságok szervezeti felügyeletét és irányítását a továbbiakban a VM látta el.

A 2010. május közepére hazánkban kialakult rendkívüli hidrometeorológiai és vízjárás helyzetére tekintettel a Kormány a 183/2010. (V. 17.) Korm. rendeletével Borsod-Abaúj-Zemplén megye közigazgatási területére a polgári védelemről szóló 1996. évi XXXVII. törvény 2. § (2) bekezdés g) és j) pontja szerinti *árvízi veszélyhelyzetet* hirdetett ki és annak alapján *rendkívüli készültséget* rendelt el 2010. május 17-én 18.00 órától:

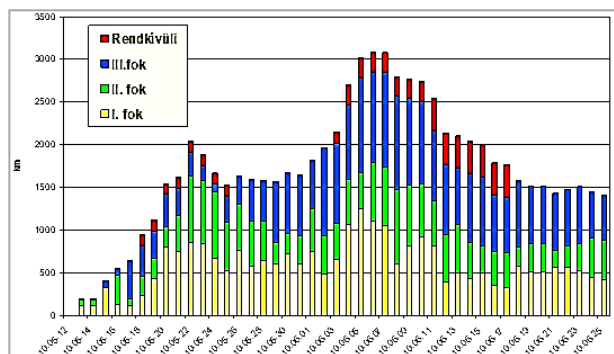
- Sajó folyó Sajópüspöki–Önod közötti szakaszára,
- a Bódva folyó Hídvérgárdó–Boldva közötti szakaszára,
- a Hernád folyó Hidasnémeti–Sajóhídvég közötti szakaszára.

Az árvízi veszélyhelyzet május 25-ig tartott.

Az „*Angéla*” ciklon nyomán kialakult helyzetben a Kormány a polgári védelemről szóló 1996. évi XXXVII. törvény 2. § (2) bekezdés g) és j) pontja szerinti június 2-án ismét *árvízi veszélyhelyzetet* hirdetett ki, valamint a veszélyhelyzetnek megfelelően *rendkívüli készültséget* rendelt el Borsod-Abaúj-Zemplén megye teljes közigazgatási területére, valamint több más térségre. Június 3-án a Jász-

Nagykun-Szolnok Megyei Védelmi Bizottság kezdeményezésére a Kormány a megye érintett településeire viszszenőleges hatállyal ugyancsak kihirdette a veszélyhelyzetet, amely június 17-ig tartott.

A 2010. május-júniusban árvízvédelmi fokozatban lévő töltések hosszát a 7. ábra szemlélteti. Június 6-8-án az egyidejűleg árvízvédelmi készültségben lévő töltések hossza meghaladta a 3 000 km-t.



7. ábra. Árvízvédelmi fokozatban lévő töltések hossza (2010.05.12-06.25.) (Szlávik 2013)

Figure 7. Length of embankments in flood protection alert states (12.05.2010. - 25.06.2010.) (Szlávik 2013)

Árvízvédekezés a Tiszán

Június 7-én a mellékfolyók (Bodrog, Sajó) által szállított vizek hatására két árhullám-csúcs is kialakult Tokaj, ill. Tiszapalkonya térségében. A Tisza árvize Tiszapalkonyától egészen Kisköréig a folyó eddigi második legmagasabb árhullámát eredményezte, Tiszapalkonya és Tiszabó között a mértékadó árvízszint fölötti szinten vonult le (4. táblázat). A Közép-Tiszán minden idők második legnagyobb terhelése érte a védvonalakat.

4. táblázat. A 2010. évi árhullám tetőzésének összevetése az LNV-vel és a mértékadó árvízszinttel a Közép-Tiszán

Table 4. Comparison of the peak of the 2010 flood wave with the LNV and the peak stage of design flood in the Middle Tisza

Vízmérc	LNV (cm) 2000-ben	NV (cm) 2010-ben	Mértékadó árvízszint (cm)	Δ_1 (3)-(2) (cm)	Δ_2 (3)-(4) (cm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Tokaj	928	819	916	-109	-97
Tiszalök	831	737	806	-94	-69
Tiszapalkonya	804	798	798	-6	0
Tiszafüred	881	858	814	-23	+44
Kisköre-alsó	1030	991	991	-39	0
Tiszaroff	1088	1029	994	-59	+35
Tiszabó	1080	1018	1004	-62	+14
Szolnok	1041	954	961	-87	-7
Martfű	1003	915	923	-88	-8

A magas vízállások szükségessé tették a 22,8 km² területű, 97,0 millió m³ térfogatú Tiszaroffi árvízi tározó megnyitását, melyre 2010. június 10-én 17:00 órakor került sor (1. kép). (A tározó optimális megnyitási időpont-

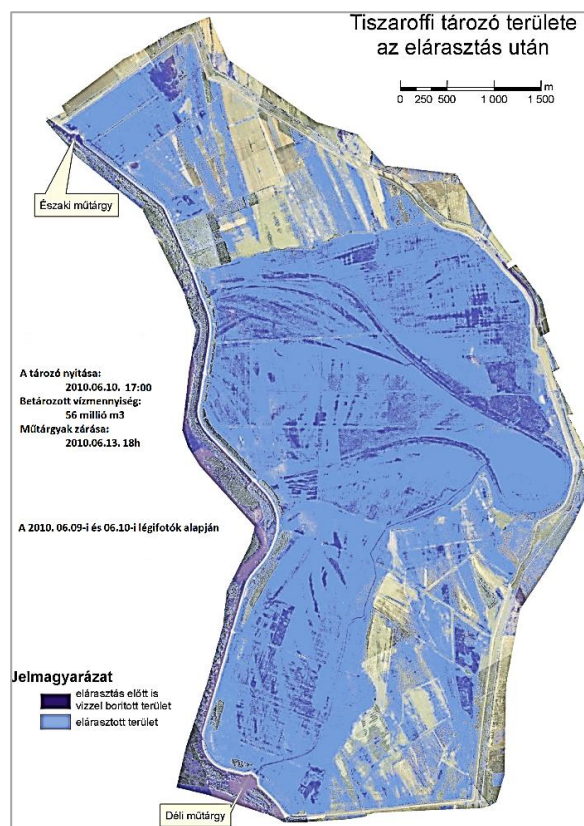
jának meghatározását már 48 órával korábban meghatározta a KÖTIKÖVIZIG a HEC-RAS 1D hidrodinamikai modellel.)



1. kép. A Tiszaroffi-tározó északi műtárgyának megnyitása (2010. 06.10. 17:00)

Photo 1. Opening of the northern structure of the Tiszaroff Reservoir (10/06/2010 5:00 PM)

Az északi és a déli műtárgy is megnyitásra került. A két zsilipen együttesen kivezetett 210-220 m³/s vízhozam kedvező vízszint-csökkenést eredményezett a Tiszafüred-Csongrád közötti folyószakaszon. A tározóba kivezetett vízmennyiség 56 millió m³ volt. A megnyitást követően légi fényképezési technológiával dokumentáció készült a feltöltődési folyamatokról (8. ábra).



8. ábra. A Tiszaroffi tározó területe az elárasztás után (Szlávik 2013)

Figure 8. The area of the Tiszaroff reservoir after the surface flooding (Slavik 2013)

A tározó megnyitásával egyidejűleg három tiszai árvízvédelmi szakaszokon *rendkívüli készütséget* rendeltek el.

Szolnok térségében még két fontos beavatkozást kell megemlíteni. Egyrészt a *szolnoki árapasztó tisztítását*, amellyel a hullámtér vízvezető képességén javítottak, másrészt a *Bivalytói töltés* 600 m hosszban történt *visszabontását*. Ez utóbbi egyrészt felgyorsította az árhullám levozulását, másrészt csökkentette annak magasságán a Tiszaroff–Vezeny közötti szakaszon. Az árhullámképek helyreállítása alapján a Tiszaroffi árvízi tározó igénybevételenek és a Bivalytói töltés elbontásának együttes hatására a vízszint csökkenésére a következő értékeket kapták:

- Tiszafüred	6 cm
- Kisköre-alsó	14 cm
- Tiszaroff	38 cm
- Szolnok	36 cm.

Az árhullám ideje alatt jelentős számú vízhozammérést végeztek a folyó vízvezető képességének meghatározására, hiszen hasonló évszakban, nyáron III. fokú árvízvédelmi szintet meghaladó árhullám a Közép-Tiszán utoljára 1980-ban vonult le. A júniusi árhullámnál a vízhozamok a kora tavaszi áradások idején mért értékeknél 20-30%-kal kisebbek voltak, és ennek ellenére alakultak ki a magas vízszintek. A folyó vízvezető képessége – a nyári lombzat fékező hatása miatt – lényegesen kedvezőtlenebb volt, mint a régebbi, hasonló méretű kora tavaszi áradásoké. Folyamatosan végezték a tározó vízminőségének vizsgálatát is. 12 nap után, június 22-én rendelték el a tározó leürítését.

A Tiszaroffi árvízi tározó megnyitásánál elsődleges szempont az árvíz kockázat csökkentése volt. A júniusi árhullám vízállás adataiból az látszik, hogy Fegyvernek–Kisköre között a tetőző vízszint jelentősen meghaladta a mértékadó árvízszintet, sok helyen megközelítette a koronaszintet. Ebben a vízállástartományban már bármilyen jelenség előfordulhat, mivel a töltések így már a tervezett terhelésnél nagyobbakat kapnak. Ezt támasztja alá, hogy a védvonalak mentén egyre több, komoly veszélyt jelentő jelenség fordult elő. Ilyenek voltak pl. töltéscsúszás, töltésrepedés, kiüregelődés, felpuhulás, hullámverés, elhabolás, veszélyes szivárgás, buzgárok, csurgások, fakadó vizek jelentek meg, több helyen magassági hiány is volt. Ahhoz, hogy e jelenségek következményei ne okozzanak nagyobb károkat (esetleg katasztrófát), jelentősen megnövekedett a szükséges beavatkozások száma, így pl. bordás megtámasztások, injektlások, leterhelések, szivattyúzások, szádfalazás stb. A megerősített védvonalakon – a kötelező biztonsági intézkedéseken túl – nem volt szükség védekezési beavatkozásra. A gátak jól bírták a rendkívüli terhelést, a szokásos fakadóvizek, szivárgások megjelenésén kívül más káros jelenség nem volt észlelhető. További hasznot jelentettek az elmaradó védekezési munkák, amelyek a teljes tiszai védelmi szakaszon a szükséges magasítások csökkentését eredményezték: a tervezett 52 km magasítás helyett csak 28 km-t kellett elvégezni. Társadalmi szinten nem elhanyagolható, hogy az árvízi tározó igénybevételel javult a lakosság biztonságérzete.

A 2010. évi árvízvédekezés sajátosságai a Közép-Tiszán:

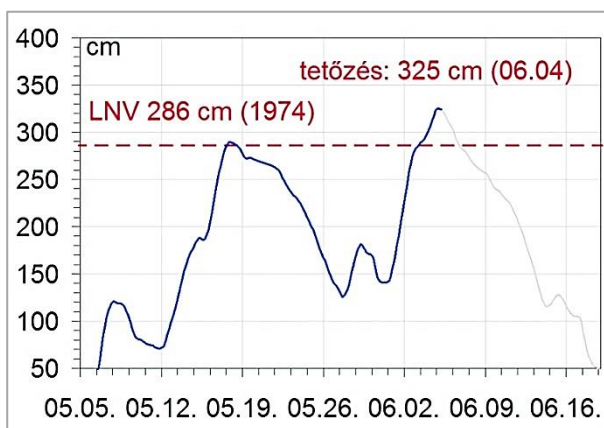
- Megnyitották a tiszaroffi árvízcsúcs-csökkentő tározót. A Tisza árvízmentesítésének a történetében ez volt az első eset, hogy a folyó síkvidéki szakaszán az árvízvédekezésben *üzemszerűen síkvidéki árvíz tározást* alkalmaztak. Az árapasztó tározás folyamata, mérési adatai fontos tapasztalatokkal szolgáltattak a módszer további alkalmazására, a VTT programban lefektetett fejlesztési célkitűzések megvalósítására.
- A nagyvízi meder vízz szállító-képességének a javítása érdekében kitisztították a szolnoki árapasztó vápát és visszabontották Szolnok alatti Bivalytói töltést. Ezek a *lefolys-javító hullámtéri beavatkozások* mérési adatokkal igazoltan javították a folyószakasz vízz szállító képességét, a vízhozamnak alacsonyabb vízszinteken való levezethetőségét eredményezték.

Árvízvédekezés a Bódván, a Hernádon, a Taktán és a Sajón

A Sajó a Tisza jobb oldali mellékfolyója; teljes vízgyűjtő területe 12 708 km², ebből a hazai terület: 6 045 km². 2010-ben a legösszetettebb árvízvédelmi helyzet az Észak-magyarországi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (EKÖVIZIG) működési területén, a Sajó és mellékfolyói (a Bódva, a Hernád és a Takta) vízgyűjtő területén, ezen a hatezer km²-en alakult ki.

BÓDVA (A vízgyűjtő teljes területe: 1730 km², ebből a hazai terület: 961 km².)

A májusi és a júniusi árhullám során is a folyó teljes hosszán az addigi LNV-t lényegesen meghaladó magasságú tetőző vízszintek alakultak ki (*1. táblázat, 9. ábra*). A Bódva mentén állami védvonalak hiányában a depóniák megerősítését, magasítását végezték.



9. ábra. Árhullámképek a Bódva szendrői szelvényében – 2010. május-június

Figure 9. Flood hydrograph in the Szendrő section of Bódva - May-June 2010

Május 18-ára kritikus vízjárás helyzet alakult ki a Bódván, a folyó szinte teljes hosszában „megtelt”. A vízállás a folyót kísérő depóniák koronaszintjével színel, kritikus volt a helyzet Edelény térségében, ahol a Bódva lakott területet veszélyeztetett, itt megfeszített erővel folyt a

védekezés. Edelényben, a Kastélykertenél a Bódva depóniájának magasztásként épített 4-5 sor magas nyúlgátat a víz elnyomta, jelentős vízkifolyás történt; lokalizációs beavatkozásokra került sor.

Május-júniusban a Bódva mentén nyolc csomópontban végeztek jelentős árvízvédelmi beavatkozásokat:

- *Hidvégtető – Bódva:* Depónia magasztás homokzsákkal. Homokzsákos nyúlgát a szivárgó és csapadékvíz elöntés ellen. Szivattyúzás.
- *Komjáti – Bódva és Pasnyag-patak:* Depónia magasztás homokzsákkal és bordás megtámasztás homokzsákból. Homokzsákos nyúlgát a szivárgó- és csapadékvíz elöntés ellen. Árvízszint csökkentés céljából vízkivezetés 3 helyen depónia nyitással.
- *Szalonna – Bódva:* Homokzsákos nyúlgátépítés a lakóházak védelmére.
- *Szendrő – Bódva:* Depónia magasztás homokzsákkal. Bordás megtámasztás homokzsákból. Homokzsákos nyúlgát a szivárgó- és csapadékvíz elöntés ellen. Szivattyúzás.
- *Szendrőlád – Bódva:* Homokzsákos nyúlgátépítés a lakóházak védelmére.
- *Edelény – Bódva:* Depónia magasztás homokzsákkal. Bordás megtámasztás homokzsákból. Homokzsákos nyúlgát a depónián átfolyó víz elöntése ellen. Szivattyúzás. Árvízszint csökkentés céljából vízkivezetés egy helyen depónia nyitással.
- *Borsodszirák külterület:* Depónia meghágásból eredő depónia szakadás 5 helyen.
- *Boldva – Bódva és Ördög-patak:* Depónia magasztás homokzsákkal. Homokzsákos nyúlgát a depónián átfolyó víz elöntése ellen. Szivattyúzás. Árvízszint csökkentés céljából vízkivezetés 3 helyen depónia nyitással, valamint egy helyen víz-visszavezetési célú depónia nyitás.

A júniusi árhullámnál szinte az egész Bódva-völgy víz alá került (2. kép). Edelénynél vált legsúlyosabbá a helyzet, de Szendrőn is megfeszített védekezés folyt. Június 3-án a Bódva Edelény térségében a korábbi LNV-t meghaladva ismét „letolta” a töltésekre épített homokzsák magasztást, így Edelényből 4 befogadó helyre 2250 fő részére kellett megszervezni a kitelepítést. A víz alá került házakból az emberek mentéséhez roham- és gumicsónakokat is felhasználtak. Megelőző jelleggel kitelepítések voltak Szendrőládról és Ócsanálosról is; további 4 település kitelepítését is előkészítették.

HERNÁD (A vízgyűjtő teljes területe: 5436 km², ebből a hazai terület: 1136 km².)

A májusi és a júniusi árhullám során is a Hernád teljes hosszán az addigi LNV-t lényegesen meghaladó magasságú tetőző vízszintek alakultak ki (1. táblázat, 10. ábra).

A május 16-tól intenzíven áradó Hernád menti árvízvédelmi vonalakon az előrejelzett tetőzések alapján kijelölt magassági hiányos töltésszakaszokon, magasztási (nyúlgátépítési) munkákat végzett az ÉKÖVIZIG a kivezényelt védekezési erők bevonásával. Az ÉKÖVIZIG Lokalizációs szakcsoportja elkészítette a Hernádon esetlegesen bekövetkező LNV+50 cm-es tetőző árhullámok

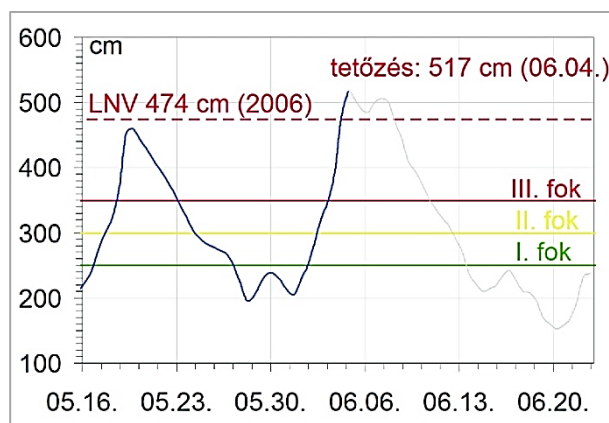
következtében a területre kijutó víz lokalizációs lehetőségeinek térképeit.

Az „Angéla” ciklon következtében megindult újabb árhullámok miatt június 5-től a Hernád mentén az LNV-t jelentősen meghaladó vízállások alakultak ki és kritikussá vált a helyzet. Az elárasztási térképek alapján a megyei operatív törzs megtervezte a lakosság (összesen 12 000 ember) kitelepítését 11 Hernád-menti településről. A kitelepítések előkészítése olyan számítással történt, hogy a vízűgy minden egyes település esetleges elöntése előtt legalább 1 órával adjon értesítést az árhullám érkezéséről a katasztrófavédelemnek.



2. kép. A Bódva újabb árhulláma által elöntött völgy Bódvaszilasnál (2010.06.05.)

Photo 2. The valley flooded by another flood wave in Bódva at Bódvaszilás (5 June 2010)



10. ábra. Árhullámképek a Hernád gesztelyi szelvényében (2010. május-június)

Figure 10. Flood hydrograph in the Gesztely section of Hernád (May-June 2010)

A védekezési munkák súlypontja a Hernádra koncentráldott. Nagy erőfeszítést igényelt a Hernád-menti védművek megerősítése, a védelmi anyagok biztosítása, kiszállítása. A helyzet súlyosságára tekintettel a folyó-völgyben 31 beavatkozási szakaszon, összesen 100,4 km hosszán folyt vízűgyi igazgatósági irányítással megelőzési és védekezési tevékenység (a töltések megemlése, megerősítése, az átázott töltésszakaszok bordás megtámasztása, nyúlgátok építése, a nyílt ártéren lévő települések ideiglenes körtöltéssel való bevédeése, töltésmegnyitások a ki-

terült víz visszavezetése céljából, gáthelyreállítás) a korábban elkészített beavatkozási terveket alapján. Az egyes beavatkozási szakaszok hossza egyenként 1,0-9,2 km volt. A védvonalak magassági hiánya döntően 50-100 cm volt, s csak kisebb részben 20-50 cm közötti. Több töltésszakadás is bekövetkezett (3. kép), számos település belterületi szakaszán a folyó hatalmas pusztítást végzett (4. kép). A helyzet kezeléséhez nagy létszámú honvédségi és rendőrségi erőt és további közreműködők munkáját vették igénybe. A Hernád-menti védelmi munkákban csúcsban 12 050 fő vett részt.



3. kép. Töltésszakadás a Hernádon (2010. június)
Photo 3. Dyke burst in Hernád (June 2010)

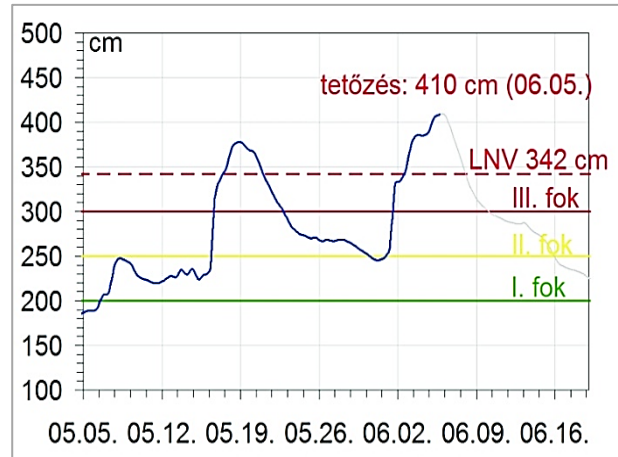


4. kép. Rombol a Hernád árvize Böcsön (2010.06.06.)
Photo 4. The Hernád flood destroys at Böcs (06.06.2010.)

Az intenzív védekezési munkák eredményeként valamennyi megerősítési szakaszon a szükséges töltésmagasítások elkészültek az árhullám előrehaladásának függvényében, így a júniusi árvíz ezeken a szakaszokon sikerült a gátak között tartani és megmenteni a veszélyeztetett 11 Hernád-menti települést; ezekről végül is nem történt kitelepítés.

TAKTA (A vízgyűjtő területe: 621 km²)

A májusi és a júniusi árhullám során a folyó teljes hosszán itt is az addigi LNV-t lényegesen meghaladó magasságú tetőző vízszintek alakultak ki (1. táblázat, 11. ábra). A folyó mentén jelentős védekezési munkára volt szükség, több helyen nyúlgátakkal védekeztek a töltésmeghágás ellen.



11. ábra. Árhullámképek a Takta taktaföldvári szelvényében (2010. május-június)

Figure 11. Flood hydrograph in the Takta section of Sajó (May-June 2010)

SAJÓ

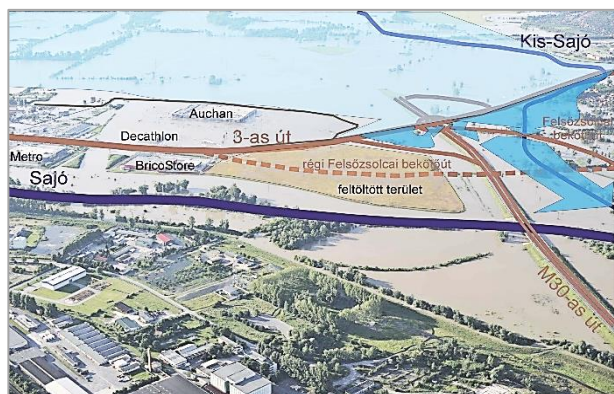
A májusi árhullám során a Sajó teljes hosszán az addigi LNV-t meghaladó magasságú tetőző vízszintek alakultak ki (1. táblázat).

A május 16-tól intenzíven áradó Sajó menti árvízvédelmi vonalakon az előrejelzett tetőzések alapján kijelölt magassági hiányos töltésszakaszokon magasítási (nyúlgátépítési) munkákat végzett az ÉKÖVIZIG a kivезényelt védekezési erők bevonásával. Az ÉKÖVIZIG Lokalizációs szakcsoportja elkészítette a Sajón esetlegesen bekövetkező LNV+20 cm-es tetőző árhullámok következtében a területre kijutó víz lokalizációs lehetőségeinek térképeit.

Az „Angéla” ciklon következtében május 30-június 1. között jelentős csapadék hullott a Sajó vízgyűjtőjén. Június 3-án a Sajón az intenzív csapadékok hatására igen magas vízállások alakultak ki: a határszelvényben LNV-t meghaladó, alatta azt megközelítő tetőzés volt. Június 5-től a Sajó mentén is kritikussá vált a helyzet. A Sajó menti településeken az épületek homokzsákkal való bevédését és kiépített védművek megerősítését, magasítását végezték.

Az észak-magyarországi árvízvédekezés egyik legösszetettebb védekezési helyszíne a Sajó Miskolc-Felsőzsolca közötti szakaszán, az M30-as út térségében alakult ki (12. ábra). Felsőzsolcán a Sajó átbukott a gáton, ezért a polgármester elrendelte a település részleges kitelepítését. A mentést végző erők között polgári védelmi hajós, csónakos egységek, speciális mentők és honvédségi lánctalpas úszójárművek is részt vettek. A településről összesen 1306 főt telepítettek ki, közülük 962 személyt Miskolcon helyeztek el. A Sajó és a Hernád összefolyása alatt, Ónodon is kritikus helyzet alakult ki; itt jelentős védekezési munkákra volt szükség.

Az ÉKÖVIZIG területén júniusban folyamatosan végezték az elöntött települések (Felsőzsolca, Ócsanálos, Kesznyéten, Hídvégardó, Hernádnémeti, Boldva, Edelény, Szendrő) vízmentesítését szivattyúzással.



12. ábra. Az M30-as út Miskolc-Felsőzsolca közötti csomópontjának fotótérképe – az észak-magyarországi árvízvédekezés egyik legösszetettebb védekezési helyszíne. 2010. június (Szlávik 2013)
Figure 12. Photo map of the junction of the M30 road between Miskolc and Felsőzsolca - one of the most complex flood defense sites in northern Hungary. June 2010 (Szlávik 2013)

Árvízvédekezés szükségtározók igénybevételével a Zagyva-Tarna vízrendszerben

Május 16-án a Zagyva tovább folytatódó áradása miatt III. fokúra emelték az árvízvédelmi készütséget a Jászberény és Újszász közötti 100 km hosszú szakaszon, továbbá II. fokú árvízvédelmi fokozatot rendeltek el a folyó Szolnok és Újszász közötti 35 km-es szakaszán. Az LNV közeli tetőző vízszint csökkentése miatt szükségessé vált a *Jászteleki szükségtározó* nyitása 1999. és 2000. után harmadszor. Az éjszaka folyamán sor került a *Borsóhalmi szükségtározó* megnyitására is, a Tarnán III. fokú készütség mellett levonuló árhullám csökkentése céljából. A tározók megnyitásának köszönhetően a Zagyva fő ága május 18-án reggel 07:00 órakor tetőzött Jászteleknél 643 cm-es vízállásnál. A *Jászteleki szükségtározóba* befolyt víz hozama 50-60 m³/s volt. A tározó telítettsége 10 millió m³ volt. A *Jászteleki szükségtározó* feltöltődése május 21-én befejeződött és megindult a víz visszarámmlása a Zagyva felé. A tározók megnyitása nélkül a Zagyván Jászteleknél 690 cm közeli tetőzés alakult volna ki.

A *Jászteleki szükségtározót* erre a funkcióra még 1974-ben jelölték ki. A szükségtározót K-ről 4,5 km hosszban a Zagyva jobb parti töltése, D-ről és É-ről a szükségtározó védőtöltése, Ny-ről természetes magaspart határolja. Területe 20 km², hasznos térfogata 13 millió m³. Feltöltésekor a Zagyva jobb parti töltését kotrógéppel vágják át (5. kép).



5. kép. Megnyitották a jászteleki szükségtározót a Zagyván (2010.05.17.)

Photo 5. The Jásztelek emergency flood reservoir has been opened in Zagyva (17.05.2010)

A Zagyva-Tarna vízrendszerben a május 30. és június 4. közötti napokban, ismét rendkívül intenzív nagy csapadék hullott, területi átlagban 82 mm, amelyek hatására gyors vízszint-emelkedéssel járó árhullámok indultak el. Az újabb árhullámok ráfutottak a Zagyva főágának telített medrére. A Zagyva vízállásokkal regisztrált történelmében még nem volt olyan eset, amikor a Zagyva árhulláma 860 cm feletti tiszai árvízszinttel találkozott volna. Az igen magas árhullámokra való tekintettel június 2-án 23:45-kor meg kellett nyitni a Borsóhalmi tározót, valamint 24:00-kor a Jászteleki tározót. A Jászteleki tározóba kifolyt víz hozama 40-50 m³/s volt. A tározó telítettsége 13 millió m³ volt. A tározók megnyitása nélkül a Zagyva főágán, Jászteleknél 670 cm közeli tetőzés alakult volna ki. A tározók igénybevételének köszönhetően a Zagyva nem érte el a két héttel korábbi vízszinteket.

A Zagyva történetében még nem volt olyan alkalom, amikor a jászteleki és a borsóhalmi tározókat alig több mint két hét időkülönbséggel kétszer egymás után is meg kellett volna nyitni. Az I. fok feletti 48 napos vízállás tartósság szintén rendkívülinek tekinthető.

A Zagyván a jellemzően heves lefutású, rövid tartóságú árhullámok legfőképpen a magassági hiányok miatt jelentenek fokozott veszélyt, amit az is mutat, hogy 1999 óta már négy olyan árhullám kivédésére kellett megnyitni a *Jászteleki* és a *Borsóhalmi szükségtározót*, amelyek tetőző szintje e nélkül meghaladta volna a töltéskorona szintjét. A rendkívül gyors lefutású árhullám miatt a magassági hiányt kivédő ideiglenes védművek kiépítésére rendelkezésre álló idő alig 24 óra lenne, ami legalábbis megkérdőjelezi annak végrehajthatóságát, vagyis egy töltésszakadás kockázata valós veszélyt jelentett. 2010-ben a számított tetőző vízálláshoz mintegy 11 km hosszban kellett volna kiépíteni a töltéskoronán az ideiglenes magassítást, ezzel szemben a valós helyzetben mindössze 1,7 km magassítás épült ki.

Árvízvédekezés a Dunán

A Duna rövid időtartamú, de jelentős tetőzési magasságú árhulláma június 1-18. között vonult át az országon. Ennek során, a védvonalakon a szokásos jelenségeken (fakadóvíz, csurgás stb.) túl semmilyen lényeges káros esemény nem történt, különösebb védekezési munkákra nem volt szükség. A Budapest-Bécs vasúti fővonal védelme érdekében homokzsákokkal magassították a töltést Komárom-Almásfüzítő között. Budapesten lezárták az alsó rakpartokat. Tahitófalunál buzgárok sorozata keletkezett, amelyeket eredményesen bevédtek, majd a kiváltó okokat részletes feltárással állapították meg. A Duna mentén helyenként, a kritikus helyzetű önkormányzati töltéseken a KÖVIZIG-ek műszaki segítségével eredményesen védekeztek.

Árvízvédekezés az Ipolyon

Az Ipolyon már május első felében, még a „Zsófia” ciklon betörése előtt kialakult egy jelentősebb árhullám, amely Ipolytarnócnál III. fok felett tetőzött. A ciklonból lehullott csapadékból újabb árhullám keletkezett. Május 17-én a kora reggeli órákban Ipolytarnóc térségében, az Ipoly bal partján lévő, az önkormányzat által a lakosság védelmére épített depóniát az áradó folyó meghágtá. A beáramló víz

– a folyamatos védekezés ellenére is – a falu alacsonyabb részén lévő lakóházakat elöntötte. Május 17-én az Ipoly Ipolytarnócnál az addigi LNV fölött 2 cm-rel tetőzött.

Az „Angéla” ciklonból június 1-én az Ipoly vízgyűjtő-jét is jelentős mennyiségű csapadék érte, melynek következtében a Szlovákiából érkező mellékvízfolyásokon és az Ipolyon is intenzív árhullám indult meg. Június 2-án az Ipoly vízgyűjtőjén is tovább folytatódott az esőzés, a megelőző 24 óra alatt 39 mm csapadék hullott le, így további intenzív áradások jellemezték a folyó vízjárását (6. kép). Jelentős védekezési munkákra volt szükség a KÖDÜKÖVIZIG részéről. Június 6-án Ipolytölgyesnél az addigi LNV-t 48 cm-rel meghaladó tetőzés alakult ki.



6. kép. Tetőzik az Ipoly a letkési hídnál (2010.06.06.)
Photo 6. Ipoly peaks at the Letkés bridge (06.06.2010)

Helyi vízkárelhárítási tevékenység

A Vízkárelhárítási szabályzat szerint a helyi vízkárelhárítás az árvíz-, belvízvédekezés céljából kiépített védművek hiányában a fellépő káros vizek elleni védekezés, továbbá az elöntések folytán a területen szétterült vizeknek a vízfolyásokba, csatornába vezetése.

A vízügyi szolgálat 1980-tól regisztrálja Magyarország hegy- és dombvidéki településein a helyi vízkár eseményeket (belterületi kár előfordulásokat). Az utóbbi 25 évben lényegesen megnőtt a helyi vízkárok előfordulásának gyakorisága, de ez részben csak látszólagos növekedés, miután figyelembe kell venni azt a körülményt is, hogy 1980-1995 között csak az igazán extrém helyzetek adatai maradtak fenn. Azóta az adatgyűjtés, adatszolgáltatás teljesebb körű. A helyi vízkárok elleni védekezés – a hatályos jogszabályok szerint – az önkormányzatok feladata.

A vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény szerint a vízügyi igazgatóság feladata a helyi önkormányzatok vízkárelhárítási tevékenységének szakmai irányítása, a polgármester részére nyújtott segítség keretében műszaki szakirányítás biztosítása.

A környezetvédelmi és vízügyi igazgatóságok 2010-ben is jelentős mértékben és folyamatosan közreműködtek számos településen a helyi vízkárok elleni önkormányzati védekezésekben:

- műszaki irányítókat biztosítottak a települések kérésére;
- homokzsákok átadásra került sor;
- számos településen kellett műszaki segítséget nyújtani, mely depóniaépítésből, szivattyúzásból, önkormányzati utak átvágásából, szükségárgok ásásából, homokzsákokból ideiglenes védművek építéséből stb. állt;
- lokalizációs feladatokat végeztek;

- az elöntött települések vízmentesítését végezték szivattyúzással.

2010. május-júniusában országosan összesen 842 településen, valamint 6 fővárosi kerületben került sor helyi vízkárok elleni védekezésre. A leginkább érintett megye Borsod-Abaúj-Zemplén volt, ahol 208 településen folyt védekezés a vízkárok ellen.

Az alábbiakban a helyi vízkárok leginkább érintett 10 megyében előfordult néhány extrém eseményt ismertetjük.

Baranya megyében májusban 12 településen folyt védekezés. Szentgál térségében átvágták az Almás-patak töltését. Júniusban a megyében 17 településen folytattak védekezést. A legkritikusabb helyzet Sásdon alakult ki a Baranya-csatorna áradása miatt. Egy 10 méteres szakaszon átvágták a gátat, s a vizet egy közel 100 hektáros területre kiengedve próbálták meg csökkenteni a csatorna vízszintjét, hogy Sásdot megvédjék a gátszakadás okozta elöntéstől.

Borsod-Abaúj-Zemplén megyében május 16-án Miskolcon a diósgyőri városrészen a Szinva-patak kiöntése miatt a tízemeletes háztömbök között 40-50 cm-es vízfolyam hömpölygött (7. kép). Május 17-én Szikszón a Vadász patak áradása miatt egy jelentős településrész mellett, víz alá került a kórház alsó szintje, ezért elrendelték a patak depóniájának átvágását. Ugyanekkor Sátoraljaújhelyen a Ronyva patak áradása miatt a több száz veszélybe került lakóházból kellett a lakosokat befogadó helyre irányítani. Júniusban az áradó Szinva patak ismételen veszélyeztette Miskolc-Diósgyőr településrészt; a Ronyva patak Sátoraljaújhelynél ismét 150 házat veszélyeztetett.



7. kép. Miskolc, Szinva terasz (2010.05.16 12:20)
Photo 7. Miskolc, Szinva terrace (16.05.2010. 12:20 UTC)

A megyében jó néhány út volt járhatatlan az áradások miatt, a kritikus időszakban összesen 17 település volt elzárva a külvilágtól, de az alapvető életfeltételek mindvégig biztosítottak voltak. Számos településen vízkorlátozás elrendelésére volt szükség; több településen zacskós és lajtoskocsis ivóvízellátás bevezetésére került sor.

Fejér megyében 14 településen folytak védekezési munkálatok. A Bakonyt több alkalommal érte nagy mennyiségű csapadék, így egyes települések útjait egymás után többször is beborította a sár. Ettől legtöbbet Bakonycserye szenvedett.

Győr-Moson-Sopron megyében májusban a Cuhai-Bakony-ér áradása okozott gondokat, Mezőörs településen nyúlgátat építettek. Május 19-én 7:41-kor az M1-es autópálya Cuhai-Bakony-ér hídjának felvázán, a bal parti pályaburkolaton kb. 1m²-es beszakadást, kimosódást észlelt az autópálya-mérnökség műszaki ügyelete, amelynek oka az volt, hogy a vízfolyás alámosta a hidat (8. kép). A kimosódás a továbbiakban jelentősen továbbfejlődött. Az ÉDUKÖVIZIG a helyreállításban szakmailag közreműködött. Júniusban a Cuhai-Bakony-ér májusi áradásához hasonló újabb nagy árhullám ismét kockázatot jelentett Bőny és Mezőörs településekre.



8. kép. Útpálya-beszakadás az M1 autópályán a Cuhai-Bakony-ér hídjánál (2010.05.19.)
Photo 8. Road collapse on the M1 motorway at the Cuhai-Bakony-brooklet bridge (19.05.2010)

Heves megye területén májusban közel 60 településen került sor vízkár-elhárítási feladatokra. Júniusban a megyében 74 településen folyt árvízzel kapcsolatos védekezési tevékenység. A Tarnán a korábbi (1974., 1999., és 2000. évi) árvizes időszakok tapasztalatai alapján a Tarnóca-patak j.p. 8+300 tkm szelvény térségében május 17-én a depónia-jellegű töltéskoronát fóliával bevédtek annak érdekében, hogy a töltést meghágó víz azon irányítottan bukjjon át. Az átbukó víz a Tarnóca-patak és a Bénépatak közötti ártéri öblötben (mint vésztározási helyen) mezőgazdasági területeket öntött el.

Nógrád megyében májusban Szécsényben a Szentlélek-patak gátja átszakadt. Május 18-án a Hasznosi-víztározó völgyzáró gátjának mentett oldalán két helyen rézsúhámítás keletkezett. A jelenség észlelésekor azonnal megkezdtek a tározó vízszintjének csökkentését és a rézsúhámítások megfogását bordás megtámasztással. A csúszásoknál összességében 10 db bordát alakítottak ki, 1,50-2 m magasságban és 5 m hosszban, mintegy 3500 db homokzsák felhasználásával (9. kép). A tározóból maximális vízeresztést végeztek. A hatékonyabb leterhelés érdekében 18 db 1 m³-es, vízzel megtöltött műanyag ballont is elhelyeztek a bordák végébe. Lakosságvédelmi intézkedésekre ekkor még nem volt szükség.

Az OMIT elrendelte a Hasznosi-tározó meghibásodásának kivizsgálását. A kialakult helyzet ellenőrzése és a tározótöltés állapotának megállapítása érdekében a KDVKÖVIZIG két műszaki munkatársat vezényelt a helyszínre, akik a tározót üzemeltető Észak-magyarországi Vízművek (ÉRV Zrt.) helyszínen lévő szakembereivel együtt elemezték a helyzetet. A gátnál talpszivárgást nem tapasztaltak; a gát domboldalba történő bekötésénél egyik

oldalán sem tapasztaltak rendkívüli jelenséget; a koronán repedést, egyéb jelenséget nem észleltek. A gáttestben lévő agyagmag jól zárt, a gáttest oldalán jelentős csurgást nem tapasztaltak. A helyszíni szemle és a körülmények elemzése alapján megállapították, hogy a gát stabil, ugyanakkor az észlelt jelenségek fokozott ellenőrzést igényelnek.



9. kép. A Hasznosi tározó rézsúcsúszása (2010. 05.23.)
Photo 9. Slope failure of the Hasznos Reservoir (23.05.2010.)

A Megyei Védelmi Bizottság június 1-i ülésén – a hidrometeorológiai előrejelzésekre tekintettel, valamint a tározó töltésének korábbi sérülése miatt – úgy döntött, hogy biztonsági okokból Hasznos és Pásztó egy részét június 1-én 21 órától kitelepítik. Hasznos településről 1100, Pásztóról 1206 fő volt ebben érintett. A lakosok visszatelepítése június 9-én 11 órától történt.

Az „Angéla” ciklon jelentős csapadékvegyenysége következtében a június 2-ára virradó éjjel a két rézsúszakasz tovább csúszott, illetőleg közöttük egy újabb megcsúszás keletkezett, összekötve azokat. A korábban épített bordás megtámasztás nem tudta megállítani a csúszást. Az új suvadás ellen műanyag ballonokból (20 db) további támasztótesteket helyeztek el. A tározóba érkező árhullám fogadására felkészülve a tározót előürítették. A befogadó tehermentesítése végett a Mátraverebélyi-, valamint a Maconkai-tározóban a vizet visszatartották. Június 1-én 22 órakor az árapasztó működésbe lépett. Összességében sikerült megakadályozni a tározó vízszintjének jelentősebb emelkedését.

Pest megye területén a Dera patak áradása házakat veszélyeztetett. Az értékek, állatok mentése, illetve a lakosság tájékoztatása folyamatos volt. Zebegényben a löszfal omlása miatt kellett a lakókat kiköltöztetni otthonukból. A május 25-én Nagykovácsiban lehullott nagy mennyiségű csapadék kerteket, pincéket öntött el, az Ördögárok patakot jelentősen felduzzasztotta.

Somogy megyében Drávaszentesen a halastó gátszakadása miatt a levezető patak töltésmagasítására került sor. A Kaposvárt átszelő Kaposon a védekezés eredményes volt.

Tolna megyében május-júniusban több település is közvetlenül veszélyeztetve volt a kisebb patakok villámárvizei miatt. Június 21-én kritikus helyzet alakult ki Bátaszék térségében a 100 mm-t meghaladó csapadék miatt.

Nagy csapadék érte a Kurd–Bátaszék vonalat, minek következtében több vízfolyás, patak megáradt. Legkritikusabb helyzet *Bátaszéknél* alakult ki, a települést a *Lajvér-patak* és a *Kövesdi-víz* is fenyegette, jelentős védekezésre volt szükség. A Lajvér-patak árva a város felett mezőgazdasági területen betározódott, így árhulláma ellapult. Végeredményben a várost sikerült megvédeni a patakok árhullámaiktól.

Veszprém megyében a heves esőzés következtében megduzzadt Séd patak 12 települést veszélyeztetett; ezeket töltésmagasítással és szivattyúzással védték. Tüskevár határában, a Torna-patak településsel ellentétes oldalán a gátat átvágták és a vizet szántóföldre vezették.

Villám-árvizek a budapesti agglomerációban

Budapest 90 km-nyi árvízvédelmi fővédvonalán túlmenően 168 km hosszúságú kisvízfolyás van a főváros megbízása alapján a Fővárosi Csatornázási Művek (FCSM) üzemeltetésében. Feladatuk a kiöntésmentes víz-elvezetés biztosítása a medrek és – ahol van ilyen – a védművek kiépítettségének mértékéig.

A Hosszúréti-patak árva 2010. május 30-án

A Hosszúréti-patak (másik nevén *Kő-ér*) a Budapesttől nyugatra eső területek csapadékainak elvezetését biztosítja. A patak forrása a torbágyi erdőben található, és többek között Biatorbágy, Budakeszi, Budaörs, Törökbálint, Diósd területét érintve torkollik a Dunába a Csepel-sziget északi részénél. Vízyűjtő területe 114 km². A kis vízyűjtő terület miatt a rövid idejű, nagy intenzitású csapadékok komoly terhelést okoznak a patak vízhálózatának, de ettől eltekintve a vízyűjtő alapvetően vízhiányosnak számít.

Május közepétől több hullámban jelentős csapadékot kapott a fővárosi agglomeráció térsége is. Ennek csúcspontja az a katasztrófális, eddig soha nem tapasztalt árvíz volt, amely a budafoki Hosszúréti-patakot érte május 30-án.

A május 30-i árvíz közvetlen oka a vízyűjtőterületre hullott rövididejű nagycsapadék volt. A csapadéokra jellemző volt, hogy az M7 autópályán is olyan átfolyást és vízborítást okozott, amelyre eddig nem volt példa.

A vízyűjtőn hullott csapadék ebből a zivatarból 3 óra alatt meghaladhatta a 85 mm-t, 28 mm/h átlagos intenzitással, de voltak a csapadékhullásnak olyan időszakai, amikor egy-egy negyedóra alatt csapadékinintés meghaladta a 43 mm/h értéket is. Az ilyen időtartamú és intenzitású csapadékesemény ritkán, becslésünk szerint kb. 50-100 évente fordul elő.

A nagycsapadék lokális jellegét mutatja az, hogy Budapesten a kora délután során csak kisebb zápor hullott. A rendkívüli intenzitás miatt fordulhatott elő az, hogy a patak hirtelen vízszintemelkedése mögött többen valamelyik tározó gátjának sérülését tételezték fel. Kedvezőtlen körülmény volt a megelőző napok csapadékos jellege, amely miatt a talaj már kevés vizet tudott csak magába fogadni, így a lefolyási tényező értéke a szokásos értéknél lényegesen magasabb lehetett. A patak több szakaszán kilépett medréből, átjutott a patak menti kertekbe, s végül a *Kártya utca* környezetébe, amely a völgy legmélyebb területe. A

patak a *Kártya utcai* szakaszán a partélt meghaladva medréből kilépett és elöntötte a területet (*10. kép*). A vízkilépés a vízszintek kiegyenlítődésegig folytatódott és helyenként 1,2 m-es, sőt ezt meghaladó mélységű vízborítás is kialakult.



10. kép. A Hosszúréti-patak (Budapest) által elöntött Kártya utca (2010.05.30.)

Photo 10. The Kártya Street in Budapest flooded by the Hosszúréti stream (30.05.2010)

Külön nehézséget okozott, és az árvízi katasztrófánál is súlyosabb helyzetet teremtett az, hogy a terület legmélyebb részén egy gépműhelyből fáradt olaj került a vízbe. Az olaj mennyiségéről pontos információk nem álltak rendelkezésre, de a több száz liternyi anyag minden, az elöntött területen található tárgyat, lakást, növényt, objektumot tönkretett, a Kártya utcai térség teljesen elszennyeződött, beleértve a csatornarendszert is. A katasztrófa ebben csúcsosodott ki igazán és felhívta a figyelmet arra, hogy a telephelyek, tevékenységek engedélyezése során a vízminőségi káresemény lehetőségét is fokozottan kell figyelembe venni a továbbiakban. A védekező szervezet, az FCSM erőfeszítéseinek köszönhetően az olajszennyeződés nem jutott el a központi szennyvíztisztítóba, ahol beláthatatlan károkat okozott volna, és a csatornarendszerbe került szénhidrogénből a Dunába sem jutott szennyezés.

A Szilas-patak árva június 14-én

A Szilas-patak a Gödöllői-dombságban két forrásból ered. Kerepesen leginkább Malom-pataknak nevezik, míg Újpalotán Palotai-pataknak. Útja során Kerepes Szilasliget nevű részéből kiindulva keresztülhalad Kistarcsa, majd Nagytarcsa belterületén, ahonnan egy éles kanyarral Cinkota felé veszi az irányt. Az M0 gyorsforgalmi út alatt áthaladva éri el Budapest XVI. kerületét, ahol az 1978-ban, mesterségesen kialakított Naplás-tóba torkollik.

A Naplás-tó (hivatalos nevén Szilas-pataki árvízvédelmi tározó) Budapest legnagyobb kiterjedésű állóvize a XVI. kerületben, Cinkota mellett. 1978-ban a Szilas-patak visszaduzzasztása révén alakult ki, hogy így vegyék elejét a patak áradásainak. Területe eredetileg a Szilas-patak árterületének széles, lapos völgyében elhelyezkedő, időszakosan vízzel borított láprét volt. Területe 1,5 km², vízmélysége 2-6 m. A Naplás-tó ökológiai szempontból a főváros egyik legértékesebb területe, gazdag növény- és állatvilág miatt nyilvánították védetté.

A Naplás-tavon átfolyva egy zsilip indítja további útjára a Sziles-patakot, Mátyásföldön, Rákospalotán és Kaposztásmegyeren keresztül, ahol a Megyeri-erdő alatt ömlik bele a Mogyoródi-patak. Onnan mintegy másfél kilométer megtétele után, nem messze a Megyeri hídtól torkollik a Dunába.

A Szilas-patak vízgyűjtőjét június 14-én egy kiterjedt zivatarrendszerből összeállt, jelentős csapadékot okozó zivatarcella érte el, szokatlan módon a délelőtti órákban, amely heves felhőszakadással jelentős lefolyást eredményezett. Az alig két óráig tartó csapadék során a pillanatnyi intenzitás esetenként elérte, sőt meg is haladta a 40 mm/h értéket. A csapadékmaximum függvény szerint 33 éves visszatérési időhöz tartozó nagycsapadék hullott.

A két óra leforgása alatt lehullott nagycsapadék miatt a patak felső vízgyűjtőjén jelentős felszíni lefolyás alakult ki, amely miatt a patak kilépett medréből. A víz a völgy mélyvonulatán folyt le a Naplás-tóig. A tó, mely árvízcsúcscsökkentő szereppel is bír, a hirtelen érkező árhullámot felfogta, és az árapasztó körbükön 15-20 cm nagyságrendű túlduzzasztás mellett vezette le. A patak lakott területeket nem fenyegetett, mivel a tározó – szerepét betöltve – kiegyensúlyozott nagyvízzé transzformálta a hullámot, mely a partél alatt mintegy 50 cm-rel vonult le a tározó alatti mederszakaszon. A tározót sem érte olyan hidrológiai terhelés, amely beavatkozást tett volna szükségessé.

BELVÍZVÉDEKEZÉSEK

A 2009 aszályos nyarat követően októbertől a sokéves átlagnál jóval több csapadék érte Magyarországon a síkvidéki területeit. A 2009. október – 2010. június közötti kilenc havi csapadékösszeg síkvidéken mindenütt jelentősen meghaladta a sokévi átlagot, május végéig országos átlagban 225 mm-rel (65 %) (6. ábra). A talajrétegek 2010. elejére a síkvidéki területeken a 0-50 cm mélységközben közel 100%-ig telítődtek. Ekkor még a talajvízszint – a 2009. évi nagyon száraz nyárnak köszönhetően - nem érte el a sokévi átlag szintjét.

A karácsonyi csapadékok és a hirtelen felmelegedés hatására elkezdődött a belvízképződés, 2010. január 12-ére 107 ezer ha-ra nőtt a belvízzel elöntött területek nagysága. Ekkor 7 KÖVIZIG területén 121 db szivattyútelep üzemelt, 12 millió m³ belvizet emeltek át naponta a befogadókbá.

Február elejére az intenzív védekezés, a lehülés és a csapadéktevékenység csökkenése következtében fokozatosan 30 ezer ha alá csökkent az elöntött területek nagysága. A február végi hóolvadás és esőzések hatására viszont március elejére már összesen 175 ezer ha került belvíz alá. 2010-ben március volt az addigi egyetlen hónap, amikor az átlagnál kevesebb csapadék hullott, ami igen kedvezően befolyásolta a belvízi védekezést. Az intenzív szivattyúzásnak köszönhetően április elejére 12 ezer hektárra csökkent a belvízzel elöntött terület és az áprilisi csapadékok is inkább csak elhúzták a védekezés időtartamát, de nem növelték jelentősen a belvízzel elöntött területeket.

A harmadik, legnagyobb elöntéseket hozó csapadék hullám május közepén érte el az országot. Ekkor már nem

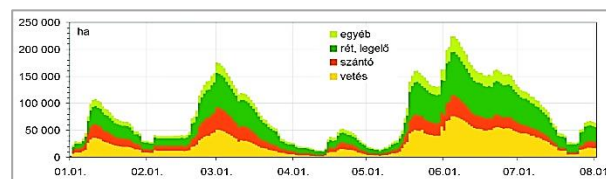
csak a talajok felső rétege volt telített, hanem a talajvíz szintje is az átlagos fölé emelkedett, valamint a Tisza vízrendszerében levonuló árvizek is súlyosbították a védekezést. A befogadók magas vízállása miatt a belvizek gravitációs levezetésének lehetősége megszűnt, az országban már az összes síkvidéki területet, mind a 12 igazgatóságot érintette a belvíz (5. táblázat). A 91 belvízvédelmi szakaszból 81-en kellett készülséget elrendelni az elvezető csatornák, illetve a befogadó vízfolyások magas vízállása miatt.

5. táblázat. A belvízvédkezést jellemző adatok 2010. május 17. és június 17. között

Table 5. Data on inland water protection between 17 May and 17 June 2010

Mutató	Mértékegység	Május 17.	Június 5.	Június 17.
Elöntés	[ezer ha]	91	224	151
Védekezésben levő igazgatóságok száma	[db]	10	12	12
Védekezésben levő szakaszok száma	[db]	45	77	69
- ebből III. fok	[db]	5	3	7
Védekezésben levő szivattyútelepek száma	[db]	122	189	150
Napi átemelt vízmennyiség	[millió m ³]	10,7	30,1	15,7
Védekező létszám	[fő]	466	1042	886

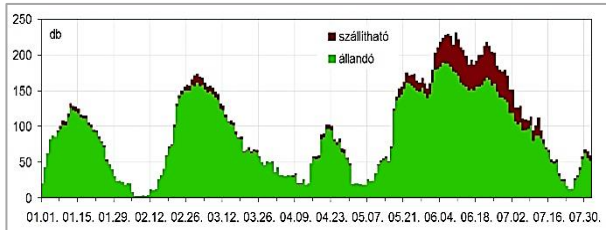
A késő tavaszi – kora nyári elöntések sokkal nagyobb kárt okoznak a mezőgazdaság számára, mint az év elejei. A legsúlyosabb helyzet június első napjaira alakult ki, június 5-én a belvízi elöntés 224 ezer ha volt, amelyből a szántó-vetés terület 115 ezer ha-t tett ki (13. ábra). A túl nedvesedett területekkel együtt mintegy 500 ezer hektáron keletkeztek igen súlyos károk. A korábbi években a 2010. évinél nagyobb elöntések (1940-42, 1966, 1999) a téli-kora tavaszi időszakban voltak, amikor a fajlagos károk lényegesen kisebbek.



13. ábra. A belvízzel elöntött területek (2010.01.01-07.30)
Figure 13. Areas flooded with inland water (01.01.2010. - 30.07.)

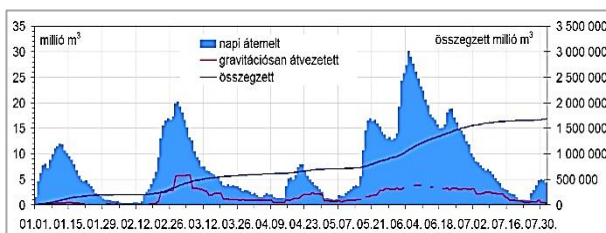
Igen sok település belterületén is keletkeztek elöntések, június elején 133 önkormányzat rendelt el belvízvédelmi készülséget, a belterületek mentesítése céljából a vízügyi igazgatóságok nagy mennyiségben végeztek kotrási, növényzetirtási, iszaptalanítási munkálatokat. A vízkormányzás és vízvisszatartás mellett döntően belvízáttemelést végeztek. 180 nagyteljesítményű szivattyútelep üzemelt szinte folyamatosan, csúcsban napi 30,1 millió m³, összesen 1,45 milliárd m³ belvíz került átemelésre (14-15. ábra). Az egész védekezés már elsősorban nem a mező-

gazdasági területek, hanem a települések védelme érdekében zajlott. Belvízvédekezés szempontjából nem vált szükségessé rendkívüli készültség elrendelése. (Összehasonlításként: az utóbbi 20 évben 1999-ben kellett rendkívüli készültséget kihirdetni, amikor is a 2010. évnek közel kétszerese, 440 ezer ha állt víz alatt.)



14. ábra. Az egyidejűleg üzemelő belvizes szivattyútelepek és szállítható szivattyúk száma (2010.01.01-07.30)

Figure 14. Number of inland pumping stations and transportable pumps operating simultaneously (01.01.2010.)



15. ábra. A szivattyúkkal áttemelt napi vízmennyiség és az áttemelt víz integrált összege (2010.01.01-07.30)

Figure 15. Daily amount of water pumped and integrated amount of water pumped (01.01.2010. – 07.30.2010.)

Az országban 2010-ben 133 db belvítározóban (állandó és ideiglenes tározók) 187 millió m³ belvíz fogadására volt lehetőség. A védekezés során a belvízzel érintett területeken 100 db tározóban 125 millió m³ belvíz tározására került sor. A belvítározók szabad kapacitását a műszaki/fenntartási hiányosságok és jogi feltételek nem kellő tisztázása miatt nem lehetett kihasználni ki teljes mértékben, valamint a belvíz tározása során vízminőségi kérdések is felmerültek.

Az intenzív üzemeltetés körülményei között kitűnt, hogy számos belvizes szivattyútelep elektromos rendszere előregedett, sok volt a meghibásodás. A hosszantartó és nagy kapacitású igénylő védekezés során 17 szivattyútelepen jeleztek olyan meghibásodást, ami azonnali javítást igényelt; a védekezés befejezése után, a helyreállítás keretében további szivattyútelepi javításokat is kellett elvégezni.

Július 31-ig mintegy 1,7 milliárd m³ belvizet (csaknem egy Balatonnak megfelelő vízmennyiséget) emeltek át a befogadóba. Augusztustól novemberig a belvízelöntés minimális volt, de 2010. decemberében ismét gyorsan megnőtt az elöntött terület: 2010. december 28-án borított legnagyobb területet a belvíz, ekkor 355 ezer ha került víz alá, ebből több mint 200 ezer ha volt vetés és szántó. Ez (1999 és 1966 után) az előző 70 év 3. legnagyobb belvízelöntése volt az országban. A mezőgazdasági művelésre alkalmatlan, túlnedvesedett terület 2010 végén több mint 1 millió ha-t tett ki.

AZ ÁRVÍZ ÉS BELVÍZ ELLENI VÉDEKEZÉS ORSZÁGOS IRÁNYÍTÁSA ÉS LOGISZTIKAI BIZTOSÍTÁSA

Az Országos Műszaki Irányító Törzs (OMIT) főbb intézkedései

A miniszter vagy kormánybiztos a vizek kártételei elleni védekezés műszaki feladatainak országos irányítását a készültség minden fokozatában az Országos Műszaki Irányító Törzs (OMIT) útján látja el. Az OMIT törzsvezetőből, helyetteséből, műszaki és ellátó szakcsoportokból, tájékoztató szolgálatból áll. Felügyeli a 12 igazgatóság (2010-ben környezetvédelmi és vízügyi igazgatóság, KÖVIZIG) és Budapest főváros védelmi szervezetének működését. A védekezés irányítását a műszaki ügyelet útján látja el.

2010. május 14. 12:00-kor az Országos Műszaki Irányító Törzs felállt alapszervezete és a hidrológiai helyzet függvényében megkezdte működését. Tájékoztatást kapott a várható LNV körüli vizekről az *Ipolyon, Bódván, Hernádon, Sajón*. Készültséget rendelt el a KÖVIZIG-ek védelmi osztagainál; az Országos Vízjelző Szolgálatnál (OVSZ) rendkívüli ügyeletet rendelt el. Összehívta a Tudományos Tanács ülését a kialakult helyzet kezelése és a lehetséges megoldások feltárása érdekében.

Május 17-én az OMIT kiadta a *Jászteleki* és a *Borsóhalmi* szükségeltározók megnyitásának engedélyét. A Sajóra, a Bódvára és a Hernádra *rendkívüli védekezést* rendelt el a Kormány veszélyhelyzetről szóló rendelete alapján. Május 21-én az OMIT kirendelte a Töltésfeltáró Szakcsoportot a Sajón és a Hernádon kialakult árvíz okozta jelenségek vizsgálatára.

Június 2-án ismételtengedélyezte a *Jászteleki* és *Borsóhalmi* szükségeltározók megnyitását. Rendkívüli védekezést rendelt el a Kormány határozata alapján. Június 5-6-án anyag, gép és munkaerő átcsoportosításokat hajtott végre a rendkívüli védekezések helyszínére, amely a különleges szervezési feladatot rótt az OMIT-ra. Elrendelte és irányította a *Tiszaroffi árvízi tározó* feltöltését és üzemeltetését. 41 nap után, június 25-én fejezte be működését.

Az árvíz és belvíz elleni védekezés logisztikai biztosítása

A védekezésben résztvevő erők létszáma csúcspontban (június 5-én) megközelítette a 25 000 főt, ebből 21 156 fő volt Borsod-Abaúj-Zemplén megyében (vízügyi szervek, katasztrófavédelem és speciális mentők, tűzoltók, rendőrség, honvédség, pénzügyőrség, büntetés-végrehajtás, megalakított polgári védelmi szervezet, lakosság – köztük társadalmi szervezetek, szövetségek, önkéntesek).

Kiemelkedő részvétele volt a védekezési munkákban a honvédségnek és a rendőrségnek. A *honvédségi erők* május 17-23. között max. 450 fővel segítették a védekezési munkákat. Június 1-11. között a kirendelt erők létszáma a védekezési helyszíneken az igénybevételi maximumot jelentő június 6-án 3071 fő volt és további 2136 fő volt I. fokú katasztrófavédelmi készenlétben. A *rendőrség* – sokrétű közreműködői tevékenysége mellett – jelentős védekezésben közreműködő létszámot is biztosít

tott: Borsod-Abaúj-Zemplén megyében, az árvízi védekezésben összességében több mint 9 000 fővel vett részt, elsősorban a júniusi védekezési időszakban.

A védekezés során ismételten bebizonyosodott, hogy a KÖVIZIG-ek létszáma nem elegendő egy hosszabb árvízi és belvízi védekezés során még az irányító feladatok maradéktalan ellátására sem. A hiányzó létszámot – amíg lehetett – a társ KÖVIZIG-ektől átcsoportosítással biztosították, de egy bizonyos védekezési fokozatban lévő töltéshossz, illetve III. fokú, vagy rendkívüli védekezések során már külső vállalkozóktól kellett felvenni szakembereket. A helyismeret, illetve az árvíz-védekezési gyakorlat hiánya sok esetben nehézségeket okozott, vagy akár hibákat, felesleges munkákat, veszélyhelyzet kialakulását eredményezett.

A kitelepítettek maximális száma június 8-án 5259 fő volt, ebből Borsod-Abaúj-Zemplén megyében 4222 főnek kellett elhagynia otthonát.

Az ország egészében az árvizek és belvizek elleni védekezésre 14,3 millió homokzsák került beépítésre. Ebből a mennyiségből összesen 3,2 millió homokzsákot külföldről biztosítottak. A védekezésnél felhasználásra került 20 ezer köbméter homok, 160 ezer négyzetméter fólia és 55 ezer fáklya.

Az anyagellátottság tekintetében biztosított volt a védekezés, ellenben az *elavult géppark* üzemeltetése már gondokat okozott, sok esetben nagymértékben csökkentette a védekezés hatékonyságát (meghibásodások miatti leállások, szerelési idők, gyártó hiánya miatt rendelkezésre nem álló alkatrészek). A *gépészeti szakember hiány* krónikussá vált, a szükséges létszámot helyenként átirányításokkal sem lehetett biztosítani.

AZ OMIT TUDOMÁNYOS TANÁCSÁNAK KÖZMŰKÖDÉSE AZ ÁRVÍZ- ÉS BELVÍZVÉDEKEZÉSBN

A 2000. évi rendkívüli tiszai árvízvédekezés során vették igénybe először egy tudományos testület közvetlen és rendszeres segítségét a védekezés kritikus helyzeteinek elemzéséhez és a megelőző, illetve operatív beavatkozások döntéseinek előkészítéséhez. Az OMIT mellett működő Tanács tagjai úgy tettek eleget javaslattevő, véleményező szerepüknek, hogy az aktuális műszaki probléma áttekintése után konszenzussal döntöttek a probléma műszaki szempontból optimálisnak tekinthető kezeléséről.

A Tanács működése arra is lehetőséget teremtett, hogy kipróbálják a tudomány legfontosabb új eredményeit a vé-

dekezési feladatok során tudatosított problémák elemzésénél, különösen abban az esetben, ha a rendelkezésre álló időelőny erre lehetőséget adott. Számos esetben szükség volt (így 2002-ben és 2006-ban is) egy-egy átfogóbb, de igen szűk határidőn belül elvégezhető számítás, modellfuttatás, illetve vizsgálat elvégzésére, az adott helyzet elemzésének pontosítása és a megalapozott javaslat megfogalmazása érdekében.

2010-ben a Tanács hasonlóképpen működött, több ülést tartott és – többek között – véleményezte és értékelte

- a védekezési feladatok vízügyi-katasztrófavédelmi-önkormányzati munkamegosztásának tapasztalatait és tanúságait;
- a Vásárhelyi Terv Továbbfejlesztése (VTT) keretében épült és épülő tározók szerepének és hatásának újraértékelését a Tiszaroffi tározó üzemelési tapasztalata alapján;
- a helyi vízkárelhárítás, a síkvidéki vízviesszatartás és a dombvidéki tározás feltételeit, javítási lehetőségeit;
- a dombvidéki völgyzárógátas halastavak üzemeltetési tapasztalatait, problémáit, a kialakult gátszakadások okait;
- az árvízi előrejelzés módszereinek fejlesztését;
- a kisvízfolyásokra vonatkozó hidrológiai ismeretek bővítésének feladatait (beleértve az előrejelzés és a riasztás korszerűsítését a helyi vízkárelhárításban).

IRODALOMJEGYZÉK

Ujváry K. (2010). A „Zsófia” és „Angéla” ciklonok csapadékszínoptikai közelítése és előrejelezhetősége. *Légkör*, 55. évf. 4. szám, pp 137-146.

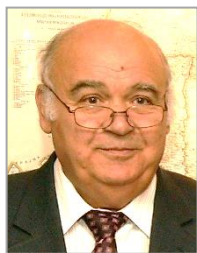
Horváth Á., Zsikla Á., Hadvári M. (2010a). A "Zsófia" ciklon meteorológiai leírása. http://owww.met.hu/pages/Zsofia_ciklon_20100515-18.php

Horváth Á., Zsikla Á., Hadvári M. (2010b). Az "Angéla" ciklon meteorológiai leírása. http://owww.met.hu/pages/Angela_ciklon_20100531-0604.php

Konkolyné Bihari Zita, Móring Andrea, Nagy Andrea (2010). Rendkívüli volt-e a 2010. május 15-18-i időjárás? http://owww.met.hu/pages/rendkivuli_majus20100515-18.php

Szlávik L. (2013). Kisvizek nagy vizei (A 2010. évi árvizek és belvizek krónikája). OVF, Budapest.

A SZERZŐ



SZLÁVIK LAJOS okleveles mérnök-hidrológus, építőmérnök (1970), vízkészlet-gazdálkodási és hidrológiai szakmérnök (1978). 1982-ben egyetemi doktori fokozatot, 1997-ben PhD fokozatot szerzett. Európa-mérnök (1999). 1970-1991. között vízügyi igazgatóságoknál, majd 2004-ig az OVF-ben, a VITUKI-ban és KvVM-ben dolgozott vezető beosztásokban. 27 éven át, 1993-tól 2000-ig tanított Baján főiskolai docensként, főiskolai tanárként. 2013-ban Professor Emeritus címet kapott. 2017-től a Nemzeti Közszolgálati Egyetem egyetemi magtanára. 2014-től az OVF Vízügyi Tudományos Tanács tagja. 2016-tól a Magyar Mérnöki Kamara tiszteletbeli tagja. Fontosabb kiténtetése: Magyar Köztársaság Lovagkeresztje (2008), Vásárhelyi Pál-Díj (2010), Reitter Ferenc-Díj (2017), Magyar Érdemrend Tisztikeresztje (2019). Mintegy 300 publikációt jegyez (részben társszerzőkkel), amelyből 25 könyv, illetve könyvrészlet, könyvfejezet a hidrológia, árvízvédelem, vízgazdálkodás, vízügytörténet témaköreiből. Négyyszer kapta meg az MHT Vitális Sándor szakirodalmi nívódíját. 1970

óta tagja az MHT-nak. Két ciklusban az MHT alelnöke (1996–2003), majd főtitkára (2007–2011), 2011-től a Társaság elnöke. MHT kiténtetése: Pro Aqua emlékérem (1977), Schafarik Ferenc-díj (1992), Bogdánfy Ödön-díj (1999). Kutatási területei: műszaki hidrológia; magyarországi folyók árvizeinek kialakulása, hidrológiája; az árvizek elleni védekezés módszerei, technológiái; ármentesítés, árvízvédelem; a síkvidéki árvíz-tározás alkalmazása; az árvízszintek emelkedésének okai; vízkárelhárítási védekezés-irányítás informatikai módszerei; a hazai árvízvédekezés, árvízvédelem története; vízkészlet-gazdálkodás; vízügytörténet.

Felszíni és felszín alatti vizek árapálya

Mentes Gyula

ELKH Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Geodéziai és Geofizikai Intézet, 9400 Sopron, Csatkai E. u. 6-8. (E-mail: Mentés.Gyula@csfk.mta.hu)

Kivonat

A cikk röviden ismerteti a földi árapály elméletét, a szilárd Föld árapályát, amely a legnagyobb hatással van a felszín alatti vizek árapályára. A kutakban mért árapály ismerete és pontos kiértékelése egy viszonylag olcsó módszert adhat a hidrológusoknak és a hidrogeológusoknak kutatási eredményeik pontosításához és ellenőrzéséhez, amelyre a cikk egy példát is bemutat. A felszíni vizek árapályának kapcsán a cikk összefoglalja az óceánok és tengerek igen bonyolult árapályát, végül pedig röviden foglalkozik a tavak árapályával, valamint a tólagos jelenségével. A téma iránt érdeklődőknek a cikkben megadott irodalmi hivatkozások jó alapot szolgáltatnak az árapályjelenség részletesebb megismeréséhez.

Kulcsszavak

Földi árapály, tengeri árapály, kutak árapálya, tavak árapálya, árapály-mérőműszerek.

Tides of surface waters and groundwater

Abstract

The article briefly presents the theory of Earth's tides, the solid Earth's tides that have the greatest impact on groundwater tides. The knowledge and exact evaluation of tides measured in wells can give a relatively inexpensive method for hydrologists and hydrogeologists to improve and check the results of their investigations, for which the article gives an example. Concerning the tides of surface waters, the paper summarises the very complex tides of the oceans and seas, and finally, it briefly deals with the tides and seiche phenomena of lakes. For those who are interested in the subject, the references in the article provide a good basis for a more detailed understanding of the tidal phenomenon.

Keywords

Earth tides, sea tides, wells tides, lakes tides, instruments for tidal observation.

BEVEZETÉS

Az óceánok partján évmilliók óta szakadatlanul változik a vízszint, amelynek oka hosszú ideig ismeretlen volt. A jelenséget árapálynak nevezzük. Annak ellenére, hogy a Földközi-tengeren és a Perzsa-öbölben ez a jelenség viszonylag gyengén jelentkezik, a Hold, a Nap és a Föld egymáshoz képesti mozgásainak megfigyeléséből a görögök, a rómaiak és a babiloniak azt a következtetést vonták le, hogy a kozmikus és földi történések között kapcsolat van. Az indiai és kínai partoknál sokkal intenzívebben jelentkező árapályjelenségről csak nagyon kevés feljegyzés maradt ránk. A görögök és a rómaiak gyakorlati tapasztalatokra tettek szert, amikor elhagyva a hazai tengerpartokat kimerészkedtek az Atlanti óceánra, az Északi- és a Fekete-tengerre, valamint az Arab-tengeren, a Vörös-tengeren és a Perzsa-öbölben hajóztak. A középkorban a hajózás számára egyre jelentősebb lett az árapály előrejelzése. Hajóskapitányok és tudósok kezdtek foglalkozni azzal, hogy rájöjjenek az árapály „mechanizmusára”. Többek között neves tudósok, mint Kepler, Newton, Bernoulli, Euler és Laplace is foglalkoztak a probléma megoldásával, azonban nekik sem sikerült egy átfogó elméletet kidolgozniuk, ugyanis a tengeri árapály az egyik legösszetettebb és legbonyolultabb geofizikai probléma. 1683-ban *Flamsteed* a Greenwichi Csillagvizsgáló első csillagásza készített egy árapálytáblázatot a London Bridge kikötőre, amelyben a dagály bekövetkezésének idejét percnyi pontossággal adta meg. A rákövetkező évben ezt egy táblázattal egészítették ki, amelyben már az Északi-tenger, a Csatorna, és az Ír-

tenger 45 kikötőjére adták meg az időeltolásokat. Ezt követően már egymás után jelentek meg az árapálytáblázatok (*Sager 1990*). Az árapály történetét az ókortól 1950-ig *Ekman (1993)* részletesen ismerteti.

A Newton-féle gravitációs törvény alkalmazása Földünk nehézségi erőterére, arra a felismerésre vezetett, hogy a nehézségi erő nagysága és iránya nem konstans és nem csak a Föld tömegének, hanem az égitestek, különösen a Nap és a Hold helyzetének függvénye. Ennek kísérleti igazolásával először *Gruithuisen* próbálkozott meg Münchenben. A matematikai számításokat mellőzve egy 10 láb hosszúságú függőön alá skálát helyezett, amelyet távcsővel figyelt meg. Mérhető elmozdulást azonban nem észlelt, mivel a maximális kitérés ilyen hosszúságú vertikális ingánál 1 mikron alatt van. Kísérlete tudománytörténeti szempontból mégis érdekes volt, mivel *Lorenz Hengler* nevű tanítványára nagy hatást gyakorolt, aki 1830-31-ben kidolgozta a horizontális inga elvét. *Hengler* a megfigyelési hely alkalmatlansága miatt konkrét eredményeket nem kapott, csupán arra a következtetésre jutott, hogy ingájának mozgása a Nap és Hold vonzásának következménye. *Perrot* francia tudós *Henglerrel* csaknem egyidőben szintén felfedezte a horizontális ingát, melynek felépítése *Hengler*éhez hasonló, de jóval kisebb méretű (a felfüggesztő-szálak hossza csupán 20 cm) volt. *Hengler* és *Perrot* munkásságától függetlenül *Zöllner* lipcsei csillagász találta fel 1872 körül harmadikként a horizontális ingát, amelynek felfüggesztési módszere már annyira tökéletesre sikerült, hogy a jelenleg használatos horizontális in-

gák többségében a Zöllner-féle felfüggesztést alkalmazták. Ennek ellenére azonban még ő sem jelentetett meg részletes megfigyelési eredményeket. A sikertelenséget a felfüggesztőszálak el nem hanyagolható torziójának tulajdonították, ezért csúcscsapágyazott horizontális ingák építésével kezdtek foglalkozni. Az első földi árapály regisztrátumot csak *von Rebeur-Paschwitz* csúcscsapágyazott ingájával sikerült megkapni 1890-ben (*Mentes 1985*). Ezt követően az árapálya kapcsolatos elméleti és kísérleti kutatások rohamos fejlődésnek indultak. Egyre pontosabb árapálykatalógusok készültek (ld. *1. táblázat*) és egyre pontosabb műszereket: dőlésmérőket (ingákat), extenzométereket (strainmétereket) és gravimétereket készítettek. Számos árapálymegfigyelő obszervatóriumot létesítettek. Ezeket a stabil hőmérséklet biztosítása, valamint az antropogén hatások kiküszöbölése céljából mélyen a földfelszín alatt, lehetőleg az alapkőzetbe telepítették.

Ez a cikk csak röviden ismerteti a Föld árapályjelenségét, a szilárd Föld árapályát, amely a legnagyobb hatással rendelkezik a felszín alatti vizek árapályára, amelyet kicsit részletesebben ismertet és *Rotár-Szalkai és társai (2006)* alapján egy példát is bemutat zárt víztükrű vízáadó rétegben mért árapályra. A földalatti vízáadó rétegek árapályának vizsgálata egy újabb lehetőség a hidrogeológiai folyamatok, sajátosságok tanulmányozására. A felszíni vizek árapályának kapcsán a cikk foglalkozik a tengerek igen bonyolult árapályának bemutatásával, végül pedig kitér a tavak árapályának mérési problémáira és a tölengés jelenségére.

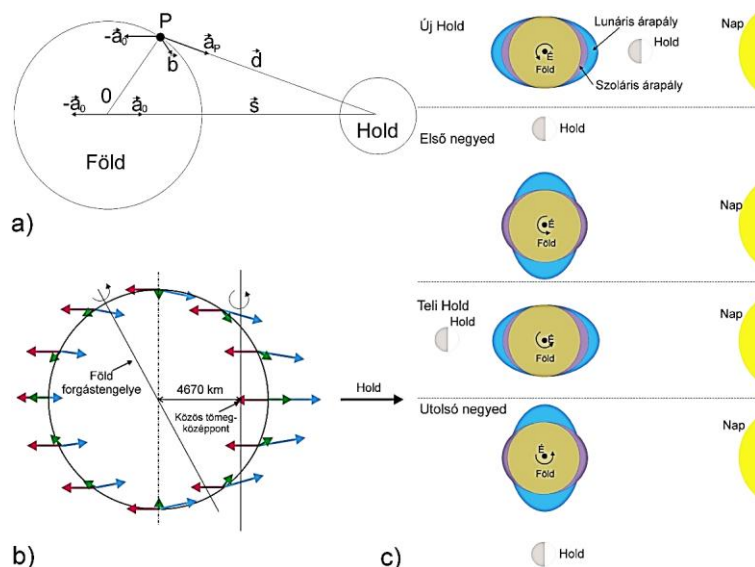
A FÖLD ÁRAPÁLYJELENSÉGE

A Föld árapálya a külső égitestek vonzóerejének következménye. A legnagyobb hatása a Holdnak és a Napnak van. A Föld minden pontjára hat a külső égitest (Hold, Nap, bolygók) vonzóereje és a centrifugális erő, amely a Föld és a Hold (Nap) közös tömegközéppontja (*1b. ábra*) körüli

keringésből adódik (kéttest-rendszer). A Föld tömegközéppontjában a két erő azonos, míg a középponton kívül a centrifugális erő állandó, addig a tömegvonzási erő a külső égitesttől való távolság négyzetével fordítva arányos és mindig a vonzó égitest irányába mutat (*Völgyesi 2002*). A keringésből és a tömegvonzásból származó gyorsulások eredője az árapálygyorsulás vektor (*1a. ábra*):

$$\vec{b} = \vec{a}_p - \vec{a}_0 = \frac{GM_b}{d^2} \cdot \frac{\vec{d}}{d} - \frac{GM_b}{s^2} \cdot \frac{\vec{s}}{s}, \quad (1)$$

ahol M_b a vonzó égitest tömege, $G = 6,6672 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$, \vec{a}_p a vonzó égitest által generált gravitációs gyorsulás, \vec{a}_0 a Föld és a vonzó égitest (Hold, Nap, bolygók) közös tömegközéppontja körüli keringésből származó centrifugális gyorsulás, \vec{b} az árapálygyorsulás, \vec{d} a topocentrikus távolságvektor, \vec{s} a geocentrikus távolságvektor. Az *1b. ábra* szemlélteti Hold esetében a centrifugális (piros nyíl) és az árapálygyorsulásból (kék nyíl) származó erőket és azok eredőjét (zöld nyíl), amelyek a Földet deformálják. Az *1c. ábra* a Földnek a Nap és a Hold által okozott deformációját mutatja a Holdnak a Naphoz és a Földhöz viszonyított négy jellegzetes helyzetében. A Föld egynapos körülfordulása alatt ezért látunk a Hold helyzetétől függően 6 óránként magas dagályt és apályt vagy magas és alacsony dagályt. Az ábra a három égitestet egy síkban ábrázolja. A valóságban a Föld egyenlítőjének síkja 23,5 fokot zár be az ekliptika síkjával (a Földnek a Nap körüli keringési síkja) és a Hold keringési síkja pedig 5,145 fokot az egyenlítő síkjával, vagyis 28,645 fokot az ekliptika síkjával. A keringési pályák a valóságban ellipszis alakúak, a holdpálya keringési síkjának precessziója (körülfordulási ideje) 18,6 év. Ezekre a hatásokra, továbbá a többi bolygó vonzó hatására nem térünk ki.



1. ábra. Égitest vonzó hatása a Földre (a), árapály-deformálóerők (b), a nap és a hold együttes hatása (c)

(Megjegyzés: (a) \vec{a}_p a vonzó égitest által generált gravitációs gyorsulás, \vec{a}_0 a Föld és a vonzó égitest (Hold, Nap stb.) közös tömegközéppontja körüli keringésből származó centrifugális gyorsulás, \vec{b} az árapálygyorsulás, \vec{d} a topocentrikus távolságvektor, \vec{s} a geocentrikus távolságvektor, (b) árapályvonzóerő (kék vektor), centrifugális erő (piros vektor), a vonzóerő és a centrifugális erő eredője a deformáló erő (zöld vektor).)

Figure 1. Attractive effect of celestial body on Earth (a), tidal deformation forces (b), the combined effect of the sun and the moon (c) (Note: (a) \vec{a}_p is the gravitational acceleration generated by the attractive celestial body, \vec{a}_0 is the centrifugal acceleration resulting from the rotation about the center of gravity of the Earth and the attractive celestial body (Moon, Sun, etc.), \vec{b} the tidal acceleration, \vec{d} the topocentric distance vector, \vec{s} the geocentric distance vector, (b) the tidal attractive force (blue vector), the centrifugal force (red vector), the deforming force (green vector) resulting from the attraction force and the centrifugal force.)

Az árapályerők létrejöttében szerepet játszó hatások konzervatív erők, ezért a jelenség tárgyalása során az erőhatásokat potenciálfüggvényeik segítségével vizsgálhatjuk. A \vec{b} árapálygyorsulás vektor definíció szerint a V árapálypotenciál gradiense:

$$\vec{b} = \overrightarrow{\text{grad}}V = \frac{\partial V}{\partial \vec{r}}, \quad (2)$$

ahol r a Föld egy P pontjába mutató sugár.

$$V = GM_b \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{s} - \frac{r \cdot \cos\psi}{s^2} \right), \quad (3)$$

ahol ψ a vonzó égitest geocentrikus zenitszöge. M_b a vonzó égitest (Nap, Hold, bolygók) tömege. A potenciál skaláris mennyiség, így az egyes vonzó égitestek által a Föld egy P pontjában létrehozott potenciálok algebrai módon összegezhetőek. A (3) egyenlet Legendre polinomok, $P_l(\cos\psi)$ szerint sorba fejthető:

$$V = \frac{GM_b}{s} \cdot \sum_{l=2}^{\infty} \left(\frac{r}{s} \right)^l P_l(\cos\psi). \quad (4)$$

Mivel r/s kb. $1,6 \cdot 10^{-2}$ a Hold és $4 \cdot 10^{-5}$ a Nap esetében, a sorbafejtés gyorsan konvergál. A V_2 másodfokú polinomiális tag lesz a potenciál domináns része, mely a

Hold esetében a teljes potenciálérték mintegy 98 %-át jelent, míg a Nap esetében a magasabb fokú tagok teljesen elhanyagolhatóak. A legpontosabb árapálypotenciál katalógusban a Hold esetében $l_{\max}=6$, míg a Nap esetében $l_{\max}=3$ és a bolygók esetében $l_{\max}=2$ (Hartman és Wenzel 1995a, b). A Föld árapályjelenségét részletesen ismertetik Melchior (1978), Wilhelm és társai (1997), Agnew (2007). Fontosabb árapályhullámok jelölése, periódusideje, valamint az általuk okozott vertikális deformáció amplitúdója a φ földrajzi szélesség függvényében a 2. táblázatban található.

1. táblázat. Árapálypotenciál katalógusok rövid leírása (Wenzel 1997)

Table 1. Short description of tidal potential catalogues (Wenzel 1997)

Katalógus	Hullámok száma	Együtthatók száma	Max. fok
Doodson (1921)	378	378	3
Cartwright és Taylor (1971) Cartwright és Edden (1973)	505	1010	3
Büllesfeld (1985)	656	656	4
Tamura (1987)	1200	1326	4
Xi (1989)	2934	2934	4
Tamura (1993)	2060	3046	4
Roosbeek (1996)	6499	7202	5
Hartmann és Wenzel (1995a, b)	12935	19271	6

Megjegyzés: φ a földrajzi szélesség. Note: φ is the geographical latitude.

2. táblázat. Jelentősebb árapálykomponensek

Table 2. Some principal tidal constituents

Jelölés	Név	Periódusidő [óra]	Egyensúlyi árapály- amplitúdó [cm]
Félnapos			
M_2	Fő lunáris tag	12,4206	$24,3 \cos^2\varphi$
S_2	Fő szoláris tag	12,0000	$11,3 \cos^2\varphi$
N_2	Lunáris elliptikus tag	12,6584	$4,7 \cos^2\varphi$
K_2	Luni-szoláris deklinációs tag	11,9673	$3,1 \cos^2\varphi$
Egynapos			
O_1	Fő lunáris tag	25,8194	$10,1 \sin^2\varphi$
K_1	Luni-szoláris deklinációs tag	23,9344	$14,2 \sin^2\varphi$
P_1	Fő szoláris tag	24,0659	$4,7 \sin^2\varphi$
Hosszú- periódusú			
M_f	Lunáris kéthetes tag	13,66 nap	$2,1 (1-3 \sin^2\varphi)$
M_n	Lunáris hónapos tag	27,55 nap	$1,1 (1-3 \sin^2\varphi)$
S_{sa}	Szoláris fél éves	182,62 nap	$1,0 (1-3 \sin^2\varphi)$

A SZILÁRD FÖLD ÁRAPÁLYA

Az árapálykeltő erők hatására a valódi Föld deformációt szenved, mely jó közelítéssel rugalmas alakváltozásnak tekinthető. Azt, hogy az árapályfrekvenciákon a Föld tényleges deformációs válasza mennyire közelíti az ideális rugalmas alakváltozásokat, a Föld anyagának rugalmas és reológiai tulajdonságai határozzák meg. Ezen válaszok leírásához bizonyos állandókat vezettek be, melyek mintegy

$$u_\theta = \frac{l(r)}{g} \cdot \frac{\partial V_2(r, \theta, \lambda)}{\partial \theta} \quad \text{és} \quad u_\lambda = \frac{l(r)}{g \sin \theta} \cdot \frac{\partial V_2(r, \theta, \lambda)}{\partial \lambda} \quad (5)$$

jellemzésére az $l(r)$ (θ a kiegészítő földrajzi szélesség, λ a földrajzi hosszúság, g a nehézségi gyorsulás, r a Föld kö-

„arányítják” az alakváltozásokat az árapály potenciálfüggvényekhez. A jelenségek leírásában alkalmazott állandók:

- a Föld deformációjából adódó potenciálváltozás $\Delta V = (k(r) \cdot V_2)$ jellemzésére a $k(r)$
- a szilárd Föld pontjainak radiális elmozdulása $u_r = (h(r) \cdot V_2/g)$ jellemzésére a $h(r)$
- a felszíni vízszintes síkban létrejövő horizontális elmozdulások.

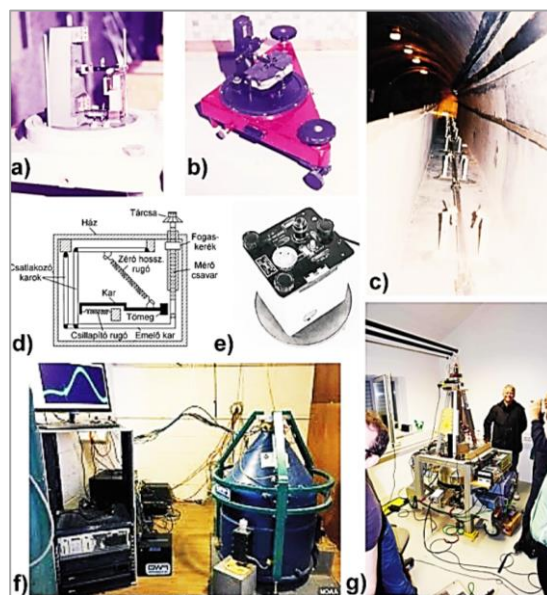
zépontjától való távolság). A $k(r)$, $h(r)$, és $l(r)$ sugártól függő együtthatók a Love-számok, az $l(r)$ -t Shida-szám-

nak is nevezik. A Love-számok felszínre ($r=r_0$) vonatkozó értékeit k , h és l számként jelölik. A Föld felszínén megfigyelhető bármely árapályváltozásból származó paraméter felírható a Love-számok kombinációja segítségével (Melchior 1978).

A szilárd Föld árapályának mérése és az adatok feldolgozása

A szilárd Föld árapálydeformációja során a Föld felszínének tetszőleges két pontja egymáshoz képest vízszintes és függőleges értelemben is elmozdul. Ezt az elmozdulást horizontális és vertikális extenzométerekkel mérik (pl.: Agnew 1986). Az árapályerők hatására megváltozik a nehézségi gyorsulás értéke is, amit graviméterekkel mérnek. Kezdetben erre a célra rugós gravimétereket használtak. A mérés azon az elven alapszik, hogy egy rugóval felfüggesztett tömeg a g nehézségi gyorsulás megváltozásának hatására elmozdul. A műszer megfelelő kalibrálása után az elmozdulásból a g változásának mértéke meghatározható (regisztráló vagy relatív graviméterek). A rugós felfüggesztésre különböző módszereket fejlesztettek ki, mint pl. a 2d. ábrán látható LaCoste & Romberg graviméter esetében (LaCoste 1934). Újabban a rugós felfüggesztés helyett mágneses felfüggesztést alkalmaznak, amelynek során a tömeg egy szupravezető mágnes terében lebeg (Goodkind 1999). A legújabb atomi vagy kvantum graviméterekben közel nulla Kelvin fokra lehűtött atomokat ejtenek és az esés idejéből határozzák meg a nehézségi gyorsulást (pl.: de Angelis és társai 2009). A szupravezető és atomi graviméterek érzékenysége három nagyságrenddel haladja meg a rugós graviméterekét. Az árapályerők hatására megváltozik a helyi függőleges iránya is, amelynek mérésére horizontális ingákat (Mentes 1985) vagy hidrosztatikai dőlésmérőket alkalmaznak (pl.: Ruotsalainen 2018). A 2. ábra néhány árapályregisztráló műszer képét mutatja. Hazánkban a Mátyáshegyi Geodinamikai és Gravitációs Observatóriumban graviméterrel és extenzométerekkel (pl.: Eper-Pápai és társai 2014), a Sopronbányai Geodinamikai Observatóriumban 1990-ig horizontális ingával (2a és b. ábra), 1991-től extenzométerrel mérik a szilárd Föld árapályát (Mentes 1981, 2010, 2019), valamint mikrobarográfal az atmoszféra árapályát (Mentes és Eper-Pápai 2009). A mérési adatok feldolgozására a legelterjedtebb az ETERNA 3.4 árapály feldolgozó programcsomag (Wenzel 1996), amellyel lehetőség van elméleti árapály (nehézségi gyorsulás, függővonal változás, vízszintes és függőleges deformáció (strain) komponensek, valamint térfogati deformáció (strain)) kiszá-

mítására, továbbá a mért adatok kiértékelésére különböző földmodellek esetében a Föld tetszőleges pontjára.

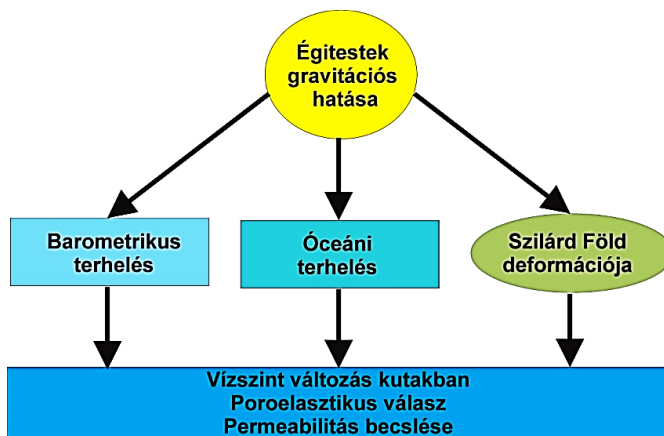


2. ábra. Néhány, a szilárd Föld árapályának mérésére szolgáló műszer: Thomaschek-Ellenberger fotoregisztrálós inga (a), egykori MTA GGKI-ban kifejlesztett kapacitív horizontális inga (b), a Sopronbányai Geodinamikai Observatóriumban működő kvarccsöves extenzométer (c), LaCoste & Romberg rugós graviméter felépítése (d) és képe (e), szupravezető graviméter (f) és kvantum (atom) graviméter (g)

Figure 2. Some instruments for measuring the tides of the solid Earth: Thomaschek-Ellenberger photorecord pendulum (a), capacitive horizontal pendulum developed in the former MTA GGRI (b), quartz tube extensometer in the Sopronbányai Geodynamic Observatory (c), the construction of LaCoste & Romberg spring gravimeter (d) and its image (e), superconducting gravimeter (f) and quantum (atomic) gravimeter (g)

FELSZÍN ALATTI VIZEK ÁRAPÁLYA

A Föld árapályerők hatására kialakuló, rugalmas deformációi közé tartozik a periodikus térfogati tágulás és összenyomódás. Ez a jelenség befolyásolja a felszín alatti vizek mozgásait, amit a vízkutak periodikus vízszintváltozásaként észlelhetünk. A szilárd Föld árapályája és a nagy területi kiterjedéssel rendelkező légnyomásváltozások, valamint az óceáni víztömegek mozgásából származó, a kontinensek belsejében is érzékelhető óceáni terhelés a felszín alatti vízáradó szerkezetében térfogati deformációt idéznek elő (3. ábra).



3. ábra. A talaj vízszintváltozását okozó globális hatások
Figure 3. Global effects causing ground water level fluctuations

Az árapályerők térfogati deformációja egyszerűsített formában a következőképpen írható (Melchior 1978):

$$\Theta_a = \varepsilon_{rr}^a + \varepsilon_{\theta\theta}^a + \varepsilon_{\lambda\lambda}^a, \quad (6)$$

ahol Θ_a térfogati árapálydeformáció, ε_{ij}^a az E^a árapály deformációs tenzor elemei, r, θ, λ gömbi koordináták. Mivel a deformációból származó elmozdulások az árapálypotenciál függvényeiként írhatók fel, a térfogati deformáció is az árapálypotenciál harmonikus függvényeként állítható elő, melyben a térfogati-deformációváltozás kapcsolatát a gerjesztő potenciállal a Love-számok egy kombinációja fejezi ki. A Föld felszínén, a szabad felszín határfeltételeinek eleget tevő deformációs összefüggés (Bredhoeft 1967):

$$\Theta_a = \left(\frac{1-2\nu}{1-\nu} \right) (\varepsilon_{\theta\theta} + \varepsilon_{\lambda\lambda}), \quad (7)$$

mely alapján a térfogati deformáció másodfokú tagja:

$$\Theta_{a2} = \left(\frac{1-2\nu}{1-\nu} \right) \left[(2h-6l) \frac{V_2}{Rg} \right], \quad (8)$$

ahol ν a Poisson-szám, R a Föld sugara, h és l Love-számok. Mivel a zárt víztükrű vízáradók térfogati strainmétereknek is felfoghatók, a bennük fellépő nyomásváltozások a földi árapály tanulmányozására is felhasználhatók (pl.: Bodvarsson 1970, Varga 1976).

Felszín alatti zárt víztükrű vízáradók árapály deformációja

Hidrológiai szempontból az ideális vízáradót úgy lehet elképzelni, mint egy kiterjedt porózus közeget, melyet összenyomható folyadék (Mádlné-Szönyi és társai 2013) tölt ki, alul és felül vízzáró réteggel határolva. Általában a vízáradó széle, kibúvása elegendően nagy távolságra van, így zárt rendszernek tekinthető. A kútban megfigyelt vízszint változását a porusokat kitöltő folyadék nyomásváltozása okozza a porózus közeg deformációjának hatására. A deformációk szempontjából általános feltételezés, hogy egy folyadékkal kitöltött vízáradó közeg porózus, rugalmas közegeként viselkedik. A vízáradó tetszőleges feszültségterhelésre adott válaszában leírásához a vízáradóra jellemző következő paramétereket alkalmazzák: konduktivitás, Poisson-szám, Skempton hányados (a közeget érő átlagos feszültség és a porusnyomás arányát kifejező szám) és a nyírási modulus. Az ideális vízáradó modelljében teljesen zárt körülmények valósulnak meg, melyek között folyadékáramlás nincs. Ennek válaszában statikus, zárt deformációs érzékenységeknek nevezzük, mely maximális vízszint amplitúdót és minimális fázistolást jelent a deformációt okozó hatáshoz képest. Természetes körülmények között a statikus deformációs érzékenység csak korlátozott frekvenciatartományra vonatkozik, és az érzékenységet nagyrészt a rétegvíz áramlási sajátosságai határozzák meg. Ha a terhelő deformáció térben inhomogén vagy lassan fejt ki hatását, a vízszintes folyadékáramlás nem elhanyagolható. Ha a vízáradó nem megfelelően zárt (a telített réteg felett telítetlen zónát is tartalmaz) vagy a deformáció sebessége lassú, a vízfelszín felé irányuló vertikális áramlás is felléphet. A legtöbb esetben, amikor a folyadékáramlás nem elhanyagolható, a folyadéknyomás változása kisebb lesz, mint a statikus zárt víztükrű vízáradók esetében.

A kútbeli vízszintek mérésének felhasználása kéregdeformációk mérésére azon az elven alapszik, hogy a nyomás változása a vízáradóban az időben és térben változó deformációs terheléstől függ, de nem függ a deformáció eredeténél természetétől. Egy kút árapályválaszának nevezzük a mért vízszintváltozás (amplitúdó) és a deformációt okozó terhelés hányadosát. Az árapályerők által keltett deformációk a kút földrajzi helyén elméleti számításokból igen jó közelítéssel meghatározhatók (Kümpel 1997), ezért az árapályválasz megadja a vízáradónak azt az érzékenységet, mellyel másfajta terhelésekre is reagál, továbbá a közeg néhány poroelasztikus tulajdonságának becslését is lehetővé teszi (pl.: Braedehoeft 1967, Robinson és Bell 1971, Rojstaczer 1988, Rojstaczer és Agnew 1989).

A vízáradóban lévő folyadék nyomása általában olyan, hogy a formációt harántoló kútban a víz szintje a vízáradó teteje fölé emelkedik. A kútban mért bármely h vízáradó egyensúlyt tart a vízáradóbeli pillanatnyi nyomással, így a magasság $h=p/\rho g$ összefüggéssel adható meg, ahol ρ a folyadék sűrűsége és p a folyadéknyomás az oszlop alján. Felszíni terhelésre a vízáradó térfogati összenyomódással válaszol és ez majdnem teljes egészében a poruskitöltő folyadék térfogatváltozásában nyilvánul meg. Ekkor a vízszint változása:

$$dh = \frac{dp}{\rho g} = \frac{\Theta E_w}{n \rho g} \quad (9)$$

alakban írható, ahol E_w a víz kompressziós modulusa, n a porozitás, és Θ a vízáradó teljes térfogati deformációja, mely a normál deformációk összege:

$$\Theta = \varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\theta\theta} + \varepsilon_{\lambda\lambda} \quad (10)$$

A vízszintemelkedésre vonatkozó összefüggés akkor érvényes az adott formájában, ha a vízáradóbeli nyomáshullám változása egyenlő a kútbeli vízszintváltozással. A poroelasztikus viselkedésre vonatkozó más elméletek szerint a mátrix kompresszibilitása nagyobb, mint a folyadéké, de ez a közelítés csak konszolidálatlan közetek esetében lehet érvényes. Egy másik feltevés szerint a földfelszíni terhelés csak vertikális deformációt okoz, de ez általánosan nem igazolható. Ugyanakkor egy folyadékkal kitöltött zárt víztükrű vízáradóban a teljes térfogati deformáció az árapálydeformáció (Θ_a) és a folyadéknyomás változása miatti dilatáció (Θ_h) összegével egyenlő. Az utóbbi:

$$\Theta_h = -\frac{dp}{E_s} \quad (11)$$

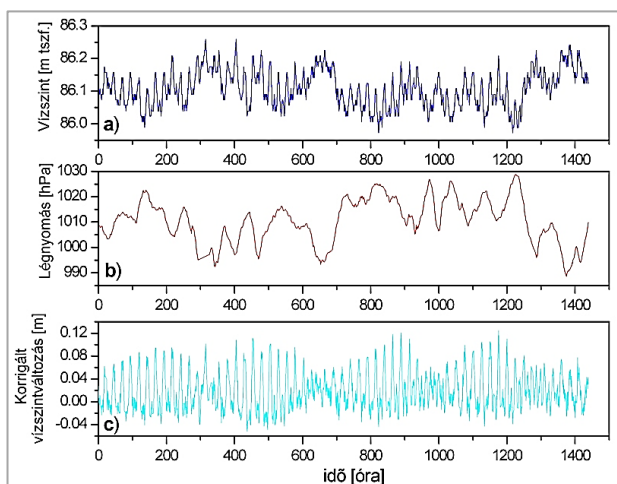
alakban írható, ahol E_s a közetváz kompressziós modulusa. Mivel a teljes deformáció $\Theta = \Theta_a + \Theta_h$, ezért a (9) egyenletből Θ -át kifejezve és abból a (11) egyenletet kivonva megkapjuk az árapályból adódó deformációt:

$$\Theta_a = \Theta - \Theta_h = n \frac{dp}{E_w} + \frac{dp}{E_s} = \rho g \left(\frac{n}{E_w} + \frac{1}{E_s} \right) dh \quad (12)$$

A képletben felhasználtuk, hogy $p=\rho gh$. Látható, hogy a vízszint változását a porozitás és a kompresszibilitási paraméterek kapcsolják össze a deformáció változással. Mivel az árapálydeformáció mértéke elméletileg számítható, a vízszintmérési adatsorok elemzésével a vízáradó

poroelasztikus paraméterei (porozitás, fajlagos tárolóképesség, összenyomhatóság, áteresztőképesség) meghatározhatók (pl.: *Narasimhan és társai 1984, Rojstaczer és Agnew 1989, Maréchal és társai 2002, Fuentes-Arreazola és társai 2018*).

A felszín alatti vizek árapályának kimutatását a Föld légkörének terhelő hatása (légköri árapály, időjárás) és az óceáni terhelés – amely a kontinensek belsejében is érzékelhető – befolyásolja (3. ábra), ezek hatását korrigálni szükséges (Farrell 1972, Agnew 2013). A légnyomáskorrekció automatikusan történik légköri nyomáskiegyenlítő vezetékkel rendelkező vízszint, ill. nyomásmérők alkalmazásával, mint pl. a Dataqua vízszintmérő (*http1*). A kontinensek belsejében a vízkutak árapályjelenségének vizsgálata során az óceáni terhelés hatása figyelmen kívül hagyható (Robinson és Bell 1971), azonban az árapályösszetevők pontos meghatározása során korrigálni szükséges (pl.: *Jentsch 1997*). Példaképpen a 4. ábra az ÜH-27 számú vízszintmegfigyelő kút 5. zónájában (-73,93 - -135,06 m tszf.) a 2004.01.01. és 2004.02.29. között mért vízszintet, a légnyomást és a légnyomással korrigált vízszintváltozás adatsort ábrázolja.



4. ábra. Az Üh-27 kútban mért vízszintmagasság adatsor (a), légnyomás adatsor (b) és korrigált vízszint adatsor (c) 2004.01.01. és 2004.02.29. között

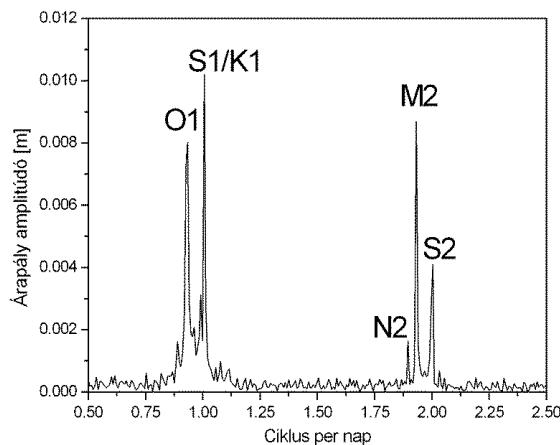
Figure 4. Water level data, air pressure data and corrected water level data in the Üh-27 well between 01.01.2004 and 29.02.2004

Az 5. ábra a 2004.01.01 és 2004.06.30 között regisztrált adatokból számított spektrumot mutatja, amelyen jól láthatók a főbb árapálykomponensek. Balla (2004), valamint Balla és társai (2004) részletesen ismertetik az üveghutai teszterület geológiai és hidrogeológiai felépítését.

Az 6. ábrán egy multipackeres megfigyelőkút felépítése látható.

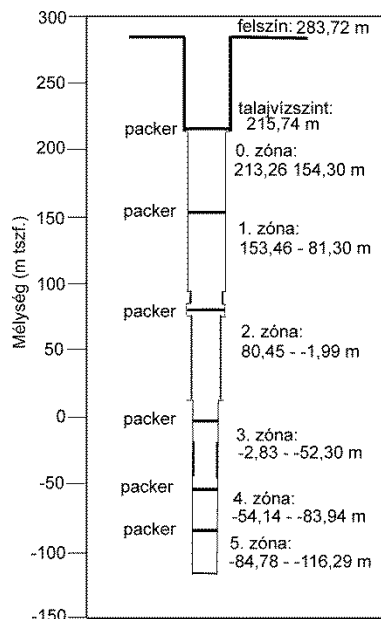
A 3. táblázat az ÜH-29 számú kút 2. (60,03 - 12,59 m tszf.), 3. (11,75 - -30,64 mtszf.) és 5. (-71,99 - -139,81 m tszf) zónákban mért vízszintváltozások árapály-kiértékelésének eredményeit mutatja be (Wenzel 1996). A kiértékeléshez a zónákban mért nyomásváltozásokat vízszintváltozásokká ($h=p/\rho g$) számoltuk át. Látható, hogy a kapott O1 és M2 amplitúdók a mélység növekedésével növekednek., ami arra enged következtetni, hogy a porozitás és

a matrix összenyomhatósága csökken a mélység növekedésével. Az üveghutai kutakban végzett árapály-megfigyelések eredményeit és az azokból levonható hidrológiai következtetéseket Rotár-Szalkai és társai (2006) részletesen ismertetik.



5. ábra. Az Üh-27 kútban mért adatok amplitúdó spektruma a 2004.01.01.-2004.06.30. időszakra vonatkozóan (Megjegyzés: Az O1, S1, K1, M2, N2, S2 árapálykomponensek megnevezése és periódusideje a 2. táblázatban található.)

Figure 5. Amplitude spectrum of the data measured in the Üh-27 well from 01.01.2004 to 30.06.2004. (Note: Table 2 shows the names and periods of the tidal components O1, S1, K1, M2, N2, S2.)



6. ábra. Az üveghutai teszterület multi-packeres megfigyelőkútjainak felépítése az ÜH-26-os kút példáján

Figure 6. Structure of the multi-packer system of the monitoring wells on the Üveghuta test site based on the example of ÜH-26 well

3. táblázat. Az árapálykiértékelés során kapott O1 és M2 árapályhullámok az ÜH-29 kútban mért adatok alapján (Rotár-Szalkai és társai 2006)

Table 3. O1 and M2 tidal waves obtained by tidal evaluation of data measured in the Üh-29 well (Rotár-Szalkai et al. 2006)

ÜH-29	Tengerszint feletti magasság [m]	O1	M2
		Amplitúdó [mm]	Amplitúdó [mm]
2. zóna	60,03 - 12,59	11.536 ± 0.043	11.730 ± 0.027
3. zóna	11,75 - -30,64	13.269 ± 0.046	12.434 ± 0.043
5. zóna	11,75 - -30,64	17.375 ± 0.056	13.254 ± 0.041

A kutakban jelentkező árapályra több hazai hidrogeológus is felfigyelt, pl.: *Lénárt (2005)*, aki több kút esetében is a fő luniszoláris hullámokat nagy pontossággal mutatta ki. Ahhoz, hogy hidrogeológiai kutatásokhoz az árapályhatás felhasználható legyen az egyes hullámok amplitúdójára és fázisára van szükség, amelyhez pontos árapálykiértékelésre van szükség (*Wenzel 1996*).

Felszín alatti nyílt víztükrű vízadók árapálydeformációja

Nyílt víztükrű vízadórétegekben a víz a kőzetekben, azok porozitásának, töredezettségének megfelelően áramlik. Ez az áramlás lecsökkenti az árapálydeformáció által létrehozott nyomást a pórusokban, ami megnehezíti, ill. lehetetlenné teszi az árapály kimutatását (pl.: *Braedehoeft 1967, Rojstaczer 1988, Rojstaczer és Agnew 1989*). Ezekben az esetekben főleg a barometrikus nyomás miatt létrejövő vízszint változások analízise teszi lehetővé a különböző hidrogeológiai paraméterek meghatározását. *Bower és Heaton (1973)* megállapították, hogy a nem túl mély kutakban a vízszintváltozás frekvenciafüggő, vagyis a kút válasza függ a légköri nyomásváltozások periodicitásától. A barometrikus válaszból a fajlagos tárolóképeség és a vezetőképesség arányát, míg az árapályra adott válaszból külön a fajlagos tárolóképeséget tudták becsülni. *Rojstaczer és Riley (1990)* megállapították, ha a kút válasza az árapály és a barometrikus hatásra jól illeszkedik, akkor a telítetlen zóna pneumatikus diffúziója és a víztároló réteg vertikális hidraulikus vezetőképessége jól becsülhető.

A felszín közeli vizekben kb. 40 m mélységig a csapadék, a vízelvétel vagy vízfolyás, a talaj és a növényzet párologtatása (evapotranszspiráció) által létrejött deformáció nagyságrendekkel meghaladhatja az árapály által okozott deformációt (*Maréchal és társai 2002, Mentés és Bódis 2012, Mentés és társai 2014, Mentés 2018*), ezért az árapály nem mutatható ki.

FELSZÍNI VIZEK ÁRAPÁLYA

Óceánok és tengerek árapályja

A Föld nehézségi erőterének egyensúlyi potenciálfelületei vertikálisan emelkednek és süllyednek az árapálypotenciál hatására, melyet az egyensúlyi szintfelület változása miatt egyensúlyi árapálynak neveznek. Az emelkedést ζ -val jelölve:

$$\zeta = \frac{V_2}{g}$$

ahol g a nehézségi gyorsulás a felszíni pontban. Az óceánok és tengerek felületén a potenciál értéke állandó és egyenlő a Föld egyensúlyi potenciáljának értékével. Ha egy képzeletbeli földmodellen a Föld felszínét vékony vízréteg borítja, a vízfelszín emelkedését a Föld középpontjához képest a következőképpen írhatjuk:

$$\zeta = (1 + k) \frac{V_2}{g}$$

Mivel a változás egyrészt az egyensúlyi szintváltozásból, másrészt a víz deformációjából adódó szintváltozásból áll (a $k=k_f$ Love számot folyadék halmazállapotú földfelszínre vonatkoztatjuk). Ugyanakkor a szilárd földfelszín (óceán- vagy tengerfenék):

$$\xi = h \frac{V_2}{g}$$

értékkel mozdul el, vagyis a vízfelszín emelkedése a fenékhez képest:

$$-\xi = (1 + k - h) \frac{V_2}{g}$$

A vékony vízréteggel borított képzeletbeli Földön a szabadon mozgó víztömeg viselkedésében azt tapasztalunk, hogy a gerjesztő égitest irányába a folyadék „árapálydomborulatot” képezve megnyúlik az égitesttel pontosan szemben fekvő, illetve azzal átellenes oldalon, a kör keresztmetszetű Földet ellipszis alakúvá deformálva (*1. ábra*). Az árapályerők ismeretében kiszámítható, hogy ha az árapálykeltő égitestet a Föld egyenlítői síkjában feltételezzük, akkor ebben a síkban a földfelszínen a Nap hatására 0.24 m maximális szintváltozás, míg a Hold hatására 0.54 m egyensúlyi szintváltozás következik be rugalmas földmodellt feltételezve. A Föld forgásának köszönhetően az árapálykeltő erőket meghatározó égitestek látszólagos helyzete folyamatosan változik, időfüggővé téve a megfigyelhető árapály mennyiségeket. A felszín egy kiválasztott pontján azt tapasztalunk, hogy naponta kétszer emelkedik a vízszint, másként kétszer van dagály (ld. *1. ábra*). Ebben a nagyon leegyszerűsített modellben a vízfelület tökéletesen követi az árapály-potenciálváltozást, és mindig merőleges a helyi gravitációs térerősség aktuális vektorára.

A valódi Föld felszínén végzett megfigyelések a fent leírt modellnek ellentmondanak, és sokkal bonyolultabb kép bontakozik ki, amikor a tagolt felszín vizeinek árapályjelenségeit akarjuk vizsgálni. Azt lehet mondani, hogy e jelenségek vizsgálatában alapvető fontosságú a tengely körüli forgást végző Föld óceánjainak dinamikus válasza az időben változó árapályerőkre (pl.: *Dale és társai 1997*). Az árapály dinamikus elmélete az árapályt az óceánok állandósult kényszermozgásának tekinti, melyben az óceán, mint dinamikus rendszer természetes oszcillációs periódussal is rendelkezik (pl.: *Hendershott 1973, 1977, LeBlond és Mysak 1979, 1981, Iz 2014*). Ha a gerjesztő periódus közelíti a természetes periódust, az állandósult árapályamplitúdó rezonáns növekedése következhet be (pl.: *Green 2010*). Hidrodinamikai számításokból, 3.5 km-es átlagos óceánmélységet figyelembe véve, mintegy 30 órás természetes periódust határoztak meg, mely a vízzel borított földmodellen körbevándorol fél földkerületnyi hullámhosszal. Az árapálykeltő erők alapvető periódusa 12 óra. Az elmélet alapján, ha a természetes periódus kisebb lenne, mint a gerjesztő periódus, az óceáni árapály megközelítőleg egybeesne az egyensúlyi árapály nagyságával és idejével. Azonban a becsült természetes periódus hosszabb a gerjesztő periódusnál, és emiatt a felszín gerjesztett oszcillációja az égitest kulminációja mögött mintegy 90°-al elmaradva jelentkezik.

A földfelszín hidroszférájának sajátosságai, a szárazföldek és tengerek szabálytalan eloszlása és váltakozása, az óceán- és tengerfenék bonyolult felszíni topográfiája miatt az óceánok és a tengerek tényleges árapályválasza rendkívül összetett. Óceáni és tengeröblökben az árapály a szomszédos nyílt víz árapályával kölcsönhatásban jön

létre, sokszor a zárt formán belül körbehaldó gyors árapályhullámként. Néhány szinte teljesen zárt tenger esetében, mint például a Földközi-tenger, Fekete-tenger (Medvedev 2018) vagy Balti-tenger, az árapályerők hatására állóhullám alakjában alakulhat ki (állandósult oszcilláció). Ilyen tengerekben az árapály okozta tengerszint emelkedés a centiméteres nagyságrendbe esik, míg a nyílt óceánon a deciméteres nagyságrendben található. Ugyanakkor part menti tengerekben és öblökben az árapály mértéke ehhez képest sokkal nagyobb is lehet, ha ezek alakja elősegíti az árapály erősítését (pl.: *Hendershott. és Speranza 1971, Green 2010*). Amikor a vízfelszín árapályvonulata eléri a kontinentális shelfek sekélyebb vizeit, előrehaladásának mértéke lelassul, energiája kisebb térfogatba akumulálódik, ezáltal az emelkedés és csökkenés amplitúdója felerősödik. Öblök és óceánmelléki tengerek medencéje akár rezonáns árapályválaszt is létrehozhat és állóhullámok (angolul seiche) alakulhatnak ki. Ez a jelenség legerősebben a Fundy-öbölben (Kanada) jelentkezik, ahol a szökőár mértéke eléri a 15-20 m-t is (7. ábra). A

legismertebb tengeri állóhullámok az Északi-tengeren és annak melléktengereiben, pl. a Balti-tengeren lépnek fel, de nem ritkák az Adriai-tengeren sem. A teljes Északi-tenger gyakran mutat mintegy 36 órás periódusidejű vízingást. Nyilvánvaló, hogy e beltengerek hosszukás alakja és esetenként sekélysege egyaránt kedvez a jelenség kialakulásának. Éppen ezért a tengereket lezáró sekély öblökben, ahol gyakran nagy kikötővárosok helyezkednek el, (tehát együttesen van jelen a hullámenergia felhalmozódás és a nagy sebezhetőség) lehet a legpusztítóbb a jelenség hatása. A legfontosabb ilyen pontok Európában Szentpétervár a Finn-öbölben, és Velence az Adriai-tenger északi sekély végében, a Pó-folyó deltavidékén.

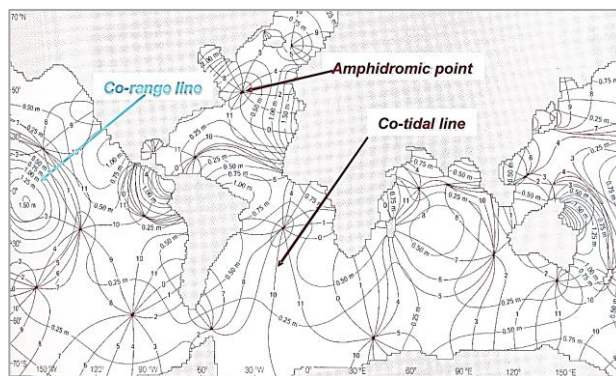
Általában elmondható, hogy a parti vizek – főleg öblök, csatornák, tölsértorkolatok – árapály mozgásai a part részletes geometriájától és a vízmélység változásaitól függenek (pl.: *Hendershott és Speranza 1971*). Az árapály amplitúdója, fázisa, a szökőár és vakár közötti különbségek széles skálán változnak helyről helyre.



7. ábra. A Fundy-öböl (Kanada, Új Skócia) a benne fellépő maximális dagály amplitúdókkal (balra) és apály idején (jobbra)(http2)
Figure 7. Fundy Bay (Canada, Nova Scotia) with its maximum tide amplitudes (left) and low tide (right) (http2)

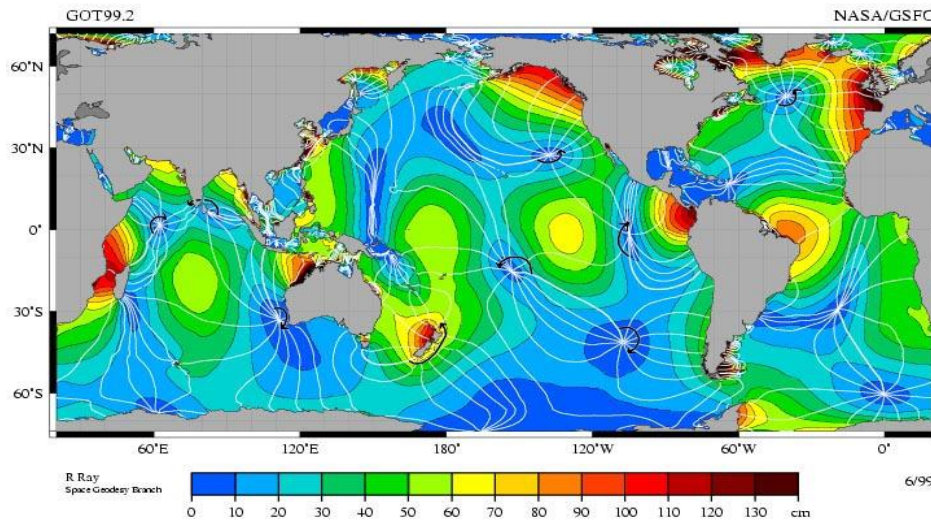
A nyílt óceánokon a vízfelszín elmozdulása az árapályerők hatására haladó hullámként követi az égitestek mozgását, úgy, hogy bizonyos pontok, az amphidromok körül körbefordul. Az amphidromok a nulla árapály amplitúdóval rendelkező pontok az óceánon, ahol e hullámok kioltják egymást. Az óceáni árapály szerkezetét az óceánok területére árapálytérképeken - izoráhiák - ábrázolják, valamely ár-

apálykomponens azonos amplitúdójú vagy fázisú pontjainak izovonalas megjelenítésével (pl.: *Egbert és társai 1994, 2004*) Az árapály vonalak az amphidromokban futnak össze, és vonalainak pontjai azonos árapályfázisban vannak (pl. a Greenwich-i vonatkoztatási időhöz számítva). A co-range vonalak az azonos árapálymagasságú helyeket kötik össze, és mindig körülölelik az amphidromokat (8. ábra).



8. ábra. Azonos amplitúdójú és azonos árapálymagasságú helyek térképe (Bearman 1999)
Figure 8. Co-tidal and co-range map (Bearman 1999)

A 9. ábra az M2 árapálykomponens globális eloszlását mutatja.



9. ábra. Az M2 Hold-dagály komponens globális eloszlása (https1)

(Megjegyzés: Az ábra jól mutatja az amfidromikus pontokat, az örvényeket és a kontinensek északnyugati partvidékén kialakuló nagy rezonancia-dagályokat.)

Figure 9. Global distribution of M2 lunar tide component (https1)

(Note: The figure illustrates amphidromic points, vortices, and high resonance tides on the northwest coast of the continents.)

A tengerszint árapályváltozásával összefüggésben árapályáramlatok is léteznek. Az árapálykeltő erők horizontális komponense alakítja ki az áramlásokat, melyek sebessége a nyílt óceánon mintegy 1 cm/s nagyságrendű, de kevésbé mély és parti vizek felett a topográfia kényszerítő hatása miatt az 1 m/s-ot is elérheti. Az árapályáramlatok a nyílt tengereken általában forgási sajátossággal rendelkeznek, ami azt jelenti, hogy az áramlat vektora egy árapályciklus alatt körbefordul, a vektor hegye egy ellipszist ír le. Az óceáni árapályáramlások hatásai közé tartozik belső hullámok gerjesztése (pl. tengerfenéki hátságok, kontinentális lejtők fölött) és az aljzati üledék felkeverése még akár mély óceáni területeken is (LeBlond és Mysak 1981, Bearman 1999).

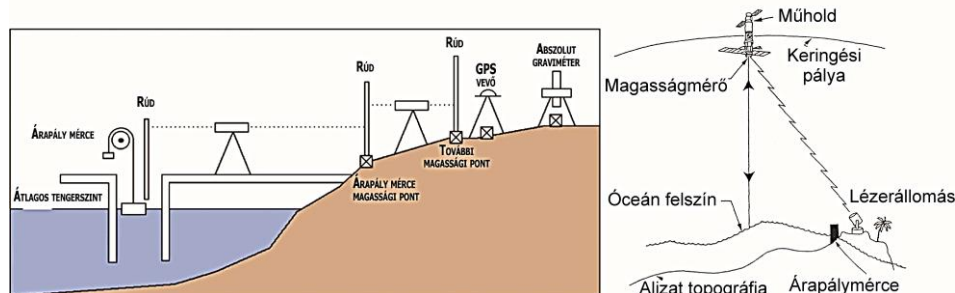
Az óceáni víztömegek árapályának súlya deformálja a földfelszínt, és a part menti szárazföldeken is deformációs terhelést okoz az árapályfrekvenciákon. Ezt a jelenséget óceáni árapályterhelésnek nevezzük, és a szárazföldön végzett mérések esetében korrekciós tényezőként figyelembe szokták venni a szilárd föld árapályparamétereinek meghatározásához (pl.: Jentzsch 1997). Valamely óceánmodell alapján kiszámítható a felszíni deformációt okozó terhelés egy adott pontra (Agnew 2013). Az óceáni árapályterhelés hatásait izovonalas térképeken is szokták ábrázolni a szárazföldek területére.

A tengeri árapály mérése

Az árapályváltozás mérése a legegyszerűbb parti vízszint mérésétől (árapálymércek) a műholdas mérésekig terjed:

- klasszikus mérés: skálával rendelkező rúd, az értékek vizuális leolvasásával,
- úszó érzékelő: egy védett csőben karhoz rögzített úszó, a kar egy analóg adatrögzítőhöz csatlakoztatva,
- nyomásérzékelő: a nyomást egy rögzített mélységben regisztrálva, tengerszint-változássá lehet átszámítani,
- radar magasságmérés: Föld körül keringő műholdról történő távolságmérés az óceán felszínére (pl.: Egbert és társai 1994, Ray 1999, Cherniawsky és társai 2001).

A vonatkoztatási szint az árapály-magasságmérések számára az úgynevezett átlagos tengerszint. Erre a szintre vonatkoztatják általában az árapályamplitúdókat és a topográfiai pontok magasságát is. Az átlagos tengerszintet hosszú tengerszintmérési adatsorokból lehet meghatározni, melyekben az árapályhatások kiátlagolódnak. A tengerszint megfigyeléséhez hozzátartozik a hónapos és éves átlagok rendszeres meghatározása is. Az átlagos tengerszint időbeli változása információt nyújthat a földfelszín emelkedéséről, süllyedéséről, éghajlati változásokról is. Az árapálymagasság (vagy árapálykülönbség) az egy árapálycikluson belül mért legalacsonyabb és legmagasabb vízállás különbsége. A 10. ábra a modern árapálymérési módszereket szemlélteti.



10. ábra. Parti és műholdas tengerszint mérés

Figure 10. Coastal and satellite sea level measurement

Tavak árapálya

Tavak vízszintjének egy- illetve félnapos ingadozása régóta ismert jelenség. Ezek azonban elsősorban atmoszferikus hatások következményei és bennük árapálymozgások ritkán és nehezen mutathatók ki. Ennek oka a tavak méreteiben és a meteorológiai eredetű zavaró hatásokban rejlik. A méretek felelősek az egyes árapályhullámok kicsi (általában néhány mm) amplitúdójáért, míg a meteorológiai hatások a jellemző árapályfrekvenciák közelében jelentkező, azokat gyakran elfedő, nagyenergiájú zajként foghatók fel. A tavak vízszintjeinek ciklikus változásai, az úgynevezett vízlengés jelenségére vezethetők vissza. Ezek az ingadozások olykor árapályjellegűek, de többnyire attól eltérő okokkal magyarázhatók. A víztömeg periodikus gerjesztése következtében, megfelelő geometriai feltételek mellett állóhullámok alakulnak ki. Amennyiben a gerjesztés frekvenciája és a medence geometriája által meghatározott saját frekvencia egybeesik, rezonancia lép fel, mely igen jelentős hullámamplitúdókat is okozhat (Merian 1828).

Az egyre kifinomultabb vízszint-meghatározási módszereknek köszönhetően az elmúlt évtizedekben több nagyobb kiterjedésű tóban sikerült a legnagyobb amplitúdójú árapályhullámokat kimutatni. Például a múlt században a Bajkál-tóban Grace (1931) az M2 amplitúdójára a végeken 8,4-6,6 mm-t mutatott ki, amely a tó közepéig folyamatosan változik, ahol kb. 0,8 mm. A szezonális vízszint-ingadozásra pedig 0,8-1,1 m-t kapott. Timofeev és társai (2009) a következő árapályamplitúdókat mérték: M2: 7,9 mm; O1 és K1: 3,5-6,5 mm; Mf: 20,9 mm, továbbá megállapították, hogy a tó lengés (seiche) periódusideje $T=4,6$ óra és amplitúdója 60 mm.

A Balaton vízében az árapály a hullámozás miatt nem mutatható ki, azonban a vízingás vagy a magyar nyelvben elterjedt tó lengés jelensége megfigyelhető. Ezt először Cholnoky Jenő mutatta ki 1897-ben Balatonkenesén és Keszthelyen történt egyidejű vízszintmérésekkel (Vincze és Kozma 2007). A lengés periódusidejének 12 órát kapott, az amplitúdó pedig néhány dm volt. Észak-nyugati szélirány esetében kb. 40 perces lengésidő figyelhető meg, mivel a tó szélessége 14 km. Természetesen ezek a lengések a széliránytól függően együttesen is előfordulhatnak. Mivel a tó mélysége, valamint a vízszintje is változó a fenti periódusidőtől eltérő periódusidejű tó lengések is megfigyelhetők. A tó lengések fizikájával Vincze és Kozma (2007) foglalkoznak részletesen.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tengeri árapály minél pontosabb ismerete nemcsak a hajózásban fontos. A folytonos mozgásban levő víztömegek a szárazföldet is deformálják, ezért a szilárd Föld árapályának mérése során a tengeri árapály hatását, az ún. óceáni terhelést is figyelembe kell venni. A szilárd Föld árapályának kimutatása után az árapálykutatás rohamos fejlődésnek indult. Az elméleti árapályhatás csillagászati adatokból nagy pontossággal meghatározható. Az elméleti és mért árapály összevetéséből egyre fejlettebb földmodelleket fejlesztettek ki, amelyek ellenőrzésére egyre pontosabb műszerek kifejlesztésére volt szükség. Az árapálykutatás jelenleg számos geofizikai jelenség tanulmányozásához járul hozzá. A hidrogeológiai kutatások esetében az általa létrehozott deformáció egy természetes gerjesztő hatás. A

vízutakban mért árapály amplitúdóját és fázisát összevetve a kút koordinátaira számított elméleti árapályhullámokkal számos hidrogeológiai paraméter határozható meg, ill. pontosítható. Magyarországon sok kutatási célra fűrt vízkút található. E kutak vízszint-, ill. nyomásváltozásának rendszeres árapálykiértékelése hozzájárulhat a hazánk területén végbemenő tektonikai deformációk jobb megismeréséhez is.

IRODALOMJEGYZÉK

- Agnew D. C. (1986). Strainmeters and tiltmeters. Reviews of Geophysics 24 (3), 579-624. <https://doi.org/10.1029/RG024i003p00579>.
- Agnew D. C. (2007). 3.06 Earth Tides. Treatise on Geophysics, University of California San Diego, San Diego, CA, USA. Elsevier B.V. Volume 3, 163-195.
- Agnew D. C. (2013). SPOTL: Some Programs for Ocean-Tide Loading. Institute of Geophysics and Planetary Physics, Scripps Institution for Oceanography, University of California. Technical Report.
- Balla Z. (2004). General characteristics of the Bataapáti (Üveghuta) site (South-Western Hungary). Annual Report of the Geological Institute of Hungary. 2003, pp. 73-85.
- Balla Z., Horváth L., Benedek K., Mező Gy., Molnár P. (2004). Hydrogeologic pattern of the Bataapáti (Üveghuta) site. Annual Report of the Geological Institute of Hungary. 2003, pp. 449-463.
- Bearman G. (Ed) (1999). Waves, tides and shallow-water processes. The Open University, Pergamon Press Ltd, Oxford, England, 2. Ed.
- Bower D. R., Heaton K. C. (1973). response of an unconfined aquifer to atmospheric pressure, Earth tides and a large earthquake. 7th International Symposium on Earth Tides, Sopron, Hungary, 1973.
- Braedehoeft J. D. (1967). Response of well-aquifer systems to Earth tides. Journal of Geophysical Research 72, 3075-3078.
- Bodvarsson G. (1970). Confined fluids on strain meters. Journal Geophysical Research 75, 2711-2718.
- Büllesfeld F.-J. (1985). Ein Betrag zur harmonischen Darstellung des gezeitenerzeugenden Potentials. Deutsche Geod. Komm. C 314, 1-103.
- Cartwright D. E., Tayler R. J. (1971). New Computation of the tide generating potential. Geophys. J. R. astr. Soc. 23, 45-74.
- Cartwright D. E., Edden C. A. (1973). Corrected tables of tidal harmonics. Geophys. J. R. astr. Soc. 33, 253-264.
- Cherniawsky J. Y., Foreman M. G. G., Crawford W. R., Henry R. F. (2001). Ocean Tides from TOPEX/Poseidon Sea Level Data. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 18, 649-664.
- Dale C. W., Haidvogel B., Iskandarani M., Hughes R. (1997). Dynamics of the long-period tides. Progress in Oceanography 40 (1-4), 81-108.
- de Angelis M., Bertoldi A., Cacciapuoti L., Giorgini A., Lamporesi G., Prevedelli M., Saccorotti G., Sorrentino F.,

- Tino G. M. (2009). Precision gravimetry with atomic sensors. *Measurement of Science and Technology* 20 022001 (16pp). doi:10.1088/0957-0233/20/2/022001.
- Doodson A. T. (1921). The harmonic development of the tide generating potential. *Proc. Royal Soc. London A* 100, 306-328.
- Egbert G. D., Bennett A. F., Foreman M. G. G. (1994). TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model. *Journal of Geophysical Research* 99, (C12), 24, 821-852.
- Egbert G. D., Ray R. D., Bill, B. G. (2004). Numerical modelling of the global semidiurnal tide in the present day and in the last glacial maximum. *Journal of Geophysical Research* 109, C03003, doi:10.1029/2003JC001973.
- Ekman M. (1993). A concise history of the theories of tide, precession-nutation and polar motion (from antiquity to 1950). *Surveys in Geophysics* 14, 585-617.
- Eper-Pápai I., Mentés Gy., Kis M., Koppán A. (2014). Comparison of two extensometric stations in Hungary. *Journal of Geodynamics* 80, 3-11.
- Farrell W. E. (1972). Deformation of the Earth by surface loads. *Reviews of Geophysics* 10 (3), 761-797. <https://doi.org/10.1029/RG010i003p00761>.
- Fuentes-Arreazola M. A., Ramírez-Hernández J., Vázquez-González R. (2018). Hydrogeological Properties Estimation from Groundwater Level Natural Fluctuations Analysis as a Low-Cost Tool for the Mexicali Valley Aquifer. *Water* 10, 586. doi:10.3390/w10050586.
- Goodkind J. M. (1999). The superconducting gravimeter. *Review of Scientific Instruments* 70 (11), 4131-4152.
- Grace S. F. (1931). The Semi-diurnal Lunar Tidal Motion of Lake Baikal and the Derivation of the Earth-tides from the Water-tides. *Geophysical Supplements to the Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2 (7), 301-309. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1931.tb05415.x>.
- Green J. A. M. (2010). Ocean tides and resonance. *Ocean Dynamics* 60, 1243-1253. DOI 10.1007/s10236-010-0331-1.
- Hartmann T., Wenzel H. G. (1995a). The HW95 tidal potential catalogue. *Geophys. Res. Lett.* 22, 3553-3556. <https://doi.org/10.1029/95GL03324>.
- Hartmann T., Wenzel H. G. (1995b). Catalogue HW95 of the tide generating potential. *Bull. Inf. Marées Terrestres* 123, 9278-9301.
- Hendershott M. C. (1973). Ocean tides. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union* 54, 76-86.
- Hendershott M. C. (1977). Numerical models of ocean tides. In: Goldberg E., McCave I., O'Brien J., Steele J., (Eds). *The Sea*. Wiley-Interscience, New York 6, 47-95.
- Hendershott M. C. és Speranza A. (1971). Co-oscillating tides in long narrow bays; The Taylor problem revisited. *Deep Sea Research* 18, 959-980.
- Iz B. H. (2014). Sub and superharmonics of the lunar nodal tides and the solar radiative forcing in global sea level changes. *J. Geod. Sci.* 4, 150-165.
- Jentzsch G. (1997). Earth Tides and Ocean Tidal Loading. In: Wilhelm H., Zürn W., Wenzel H. G. (Eds.) (1997). *Tidal Phenomena, Lecture Notes in Earth Sciences* 66. Berlin, Heidelberg: Springer. pp. 145-172.
- Kümpel H.-J. (1997). Tides in Water-Saturated Rocks. In: Wilhelm H., Zürn W., Wenzel H. G. (Eds.) (1997). *Tidal Phenomena, Lecture Notes in Earth Sciences* 66. Berlin, Heidelberg: Springer. pp. 277-292.
- LaCoste L. J. B. (1934). A new type long period vertical seismograph. *Physics* 5 (7), 178-180.
- Leblond P. H. és Mysak L. A. (1979). *Ocean Waves: A Survey of Some Recent Results*. SIAM Review 21, (3), 289-328. <http://www.jstor.org/stable/2029570>.
- Leblond P. H. és Mysak L. A. (1981). *Waves in Ocean*. Elsevier, p. 602.
- Lénárt L. (2005). Some aspects of the "3E's" (Economics-Environment-Ethics) model for sustain-able water usage in the transboundary Slovakian and Aggtelek karst region based on some examples from the Bükk Mountains. PhD thesis work, Kassa/Kosice, TUKE.
- Maréchal J. C., Sarma M. P., Ahmed S., Lachassagne P. (2002). Establishment of earth tides effect on water level fluctuations in an unconfined hard rock aquifer using spectral analysis. *Research Communications, Current Science* 83 (1), 61-64.
- Mádlné-Szőnyi J., Czauner B., Simon Sz., Erős A., Zsemle F., Pulay E., Havril T. (2013). *Hidrogeológia. Eötvös Loránd Tudományegyetem*. pp. 1-179. <https://tk.elte.hu/dstore/document/868/book.pdf>.
- Medvedev I. P. (2018). Tides in the Black Sea: Observations and Numerical Modelling. *Pure Appl. Geophys.* 175, 1951-1969. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1878-x>.
- Melchior P. (1978). *The Tides of the Planet Earth*. Oxford: Pergamon Press.
- Mentés Gy. (1981). Horizontal pendulum with capacitive transducer. *Acta Geodaetica Geophysica et Montanistica Academiae Scientiarum Hungaricae* 16, 269-280.
- Mentés Gy. (1985). Horizontális inga kapacitív mérőátalakítóval. *Kandidátusi értekezés*. p. 170.
- Mentés Gy. (2010). Quartz tube extensometer for observation of Earth tides and local tectonic deformations at the Sopronbánfalva Geodynamic Observatory, Hungary. *Review of Scientific Instruments* 81 (7), 074501.
- Mentés Gy. (2018). A dunaszekcsői partfalmozgás okainak vizsgálata. *Hidrológiai Közlöny* 98 (3), 34-45.
- Mentés Gy. (2019). A Sopronbánfalvai Geodinamikai obszervatórium története. *Geodézia és Kartográfia* 6, 4-13.
- Mentés Gy és Eper-Pápai I. (2009). Relations between microbarograph and strain data. *Journal of Geodynamics* 48, 110-114.
- Mentés Gy., Bódis V. B. (2012). Relationships between short periodic slope tilt variations and vital processes of the vegetation. *J. Appl. Geodesy* 6, 83-88. <https://doi.org/10.1515/jag-2012-0009>.

- Mentes Gy., Bódis V. B., Péter Vig P.* (2014). Small slope tilts caused by meteorological effects and vital processes of trees on a wooded slope in Hidegvíz Valley, Hungary. *Geomorphology* 206, 239-249.
- Merian J. R.* (1828). *Über die Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten in Gefässen.* Schweighauser, Basel, pp. 53.
- Narasimhan T. N., Kanehiro B. Y., Witherspoon P. A.* (1984). Interpretation of Earth Tide Response of Three Deep, Confined Aquifers. *Journal of Geophysical Research* 89 (B3), 1913-1924.
- Ray R. D.* (1999). A Global Ocean Tide Model From TOPEX/POSEIDON Altimetry: GOT99. NASA/TMm1999-209478.
- Robinson E. S., Bell R. T.* (1971). Tides in Confined Well-Aquifer Systems. *Journal of Geophysical Research* 76 (8), 1857-1869.
- Roosbeek F.* (1996). RATGP95: A harmonic development of the tide generating potential using an analytical method. *Geophys. J. Int.* 126, 197-204.
- Rojstaczer S.* (1988). Determination of fluid flow properties from the response of water wells to atmospheric loading. *Water Resources Research* 24, 1927-1938.
- Rojstaczer S., Agnew D. C.* (1989). The influence of formation material properties on the response of water levels in wells to Earth tides and atmospheric loading. *Journal of Geophysical Research* 94, 12403-12411.
- Rojstaczer S., Riley F. S.* (1990). Response of the Water Level in a Well to Earth Tides and Atmospheric Loading Under Unconfined Conditions. *Water Resources Research* 36 (8), 1803-1817.
- Rotár-Szalkai Á., Eper-Pápai I., Mentes Gy.* (2006). Well level data analysis in Hungary near a fault region. *Journal of Geodynamics* 41, 183-189.
- Ruotsalainen H.* (2018). Interferometric Water Level Tilt Meter Development in Finland and Comparison with Combined Earth Tide and Ocean Loading Models. *Pure and Applied Geophysics* 175, 1659-1667.
- Sager G.* (1990). *Schiffe, Schlachten und Gezeiten.* Brandenburgisches Verlagshaus. Berlin, p. 88.
- Tamura Y.* (1987). A harmonic development of the tide-generating potential. *Bull. Inf. Marées Terrestres* 99, 6813-6855.
- Tamura Y.* (1993). Additional terms to the tidal harmonic tables. In: Hsu H.-T. (ed). *Proc. 12th Int. Symp. Earth Tides Science.* Press Beijing, pp. 345-350.
- Timofeev V. Y., Granin N. G., Ardyukov D. G., Zhdanov A. A., Kucher K. M., Ducarme B.* (2009). Tidal and Seiche signals on Baikal Lake level. *Bull. Inf. Marées Terrestres* 145, 11635-11658.
- Varga P.* (1976). Investigation of Earth Tides by observing dilatational variations of the water table. *Bull. Inf. Marées Terrestres* 74, 4319-4332.
- Vincze M., Kozma P.* (2007). Tólagások a Balatonon, a fjordokban és a laboratóriumban. *Természet Világa* 138 (12), 549-552.
- Völgyesi L.* (2002). *Geofizika.* Tankönyvkiadó. Budapest.
- Wenzel H. G.* (1996). The nanogal software: Earth tide data processing package ETERNA. 3.30. *Bull. Inf. Marées Terrestres* 124, 9425-9439.
- Wenzel H. G.* (1997). Tide-generating Potential for the Earth. In: Wilhelm H., Zürn W., Wenzel H. G. (Eds.) (1997). *Tidal Phenomena, Lecture Notes in Earth Sciences* 66. Berlin, Heidelberg: Springer. pp. 9-26.
- Wilhelm H., Zürn W., Wenzel H. G. (Eds.)* (1997). *Tidal Phenomena, Lecture Notes in Earth Sciences* 66. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Xi Q.* (1989). The precision of the development of tidal generating and some explanatory notes. *Bull. Inf. Marées Terrestres* 105, 7396-7404.
- http1: [http:// www. dataqua.hu](http://www.dataqua.hu) (hozzáférés: 2020.02.14).
- http2: <http://www.erdekesvilag.hu/a-vilag-legerosebb-arapaly-jelensege-a-fundy-obelben> (hozzáférés: 2020.02.14.).
- https1: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M2_tidal_constituent.jpg. (R. Ray, NASA Goddard Space Flight Center, Jet Propulsion Laboratory, Scientific Visualization Studio / Public domain. (hozzáférés: 2020.02.14).

A SZERZŐ



MENTES GYULA Villamosmérnök, 1971-től dolgozik az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetben (jelenleg ELKH Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Geodéziai és Geofizikai Intézet). Kutatási területe: Lokális és globális geodinamikai kutatások: tektonikai törésvonalak, felszíni tömegmozgások, a Pannon medence tektonikai mozgásvizsgálata extenzométerekkel, a szilárd Föld árapályának és az azzal kapcsolatos jelenségeknek a kutatása; geodéziai és geodinamikai műszerek fejlesztése. 1999-től az MTA doktora, 2000-től 2011-ig a Geodéziai Főosztály vezetője, 2014-től kutató professor emeritus.

Integrált városi hidrológiai modell módszertani alapjai vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés támogatásához

Tamás János¹, Budayné Bódi Erika¹, Gálya Bernadett¹, Szabó Andrea¹, Fehér János¹ és Nagy Attila¹

¹ Debreceni Egyetem, Viz- és Környezetgazdálkodási Intézet, 4032 Debrecen, Böszörményi út 138. (email: tamas@agr.unideb.hu)

Kivonat

Az édesvíz az emberiség alapvető igénye, megléte fontos tényező a városok kialakulásában és fennmaradásában. A települések is jellemzően víztestek mellett alakultak ki. Kérdés, hogy a klímaváltozás idején, az amúgy is folytonos fejlődésben lévő települések, miként képesek vízgazdálkodási szempontból is alkalmazkodni a változó hidrológiai-éghajlati körülményekhez. Városi vízmérleg modellezéssel megismerhető a városi vízkészletek mértéke és dinamikája. A témában végzett kutatásaink során megvalósított modellezés fő célja volt a városi hidrológiai ciklus egyik elemének, a felszíni lefolyást befolyásoló térbeli jellegű tényezők vizsgálata, amit GIS eszközökkel végeztünk Debrecen városra. A kutatás módszertani alapja a vízháztartási összefüggés, melynek fókuszában a városi területen történő felszíni lefolyás-beszivárgás becslés térinformatikai alapú módszertani fejlesztése állt. Több szempontú döntési rendszer (Multicriteria Evaluation (MCE)) mintájára egységes hidrológiai modellbe integráltunk több hidrológiai tényezőt, úgymint a csapadékot, az evapotranspirációt, az összegyülekezést, a beszivárgást és a felszíni vízfolyás hálózatot. Jelen cikkben a módszertani rész fejlesztését kívánjuk bemutatni, különös tekintettel a távérzékelés és egyéb térinformatikai adatok felhasználhatóságára.

Kulcsszavak

Integrált vízgazdálkodás, városi hidrológia, lefolyás-beszivárgás becslés, GIS.

Methodological bases of an integrated urban hydrological model to support river basin management planning

Abstract

Freshwater is a basic need of humanity and its availability is an important factor in the formation and survival of cities. Settlements also typically developed along water bodies. It is a question how the settlements that are already constantly developing at the time of climate change are able to adapt to the changing hydrological and climatic conditions from the point of view of water management. Urban water balance modelling can be used to learn about the extent and dynamics of urban water resources. The main goal of the modeling carried out during our research on the topic was to examine one of the elements of the urban hydrological cycle, namely the spatial factors influencing the surface runoff, which we performed with GIS tools for the city of Debrecen. The methodological basis of the research was the water balance, which focused on the GIS based methodological development of surface runoff and infiltration estimation in urban areas. Following the example of a Multicriteria Evaluation (MCE) model, we integrated several hydrological factors into a single hydrological model, such as rainfall, evapotranspiration, accumulation, infiltration, and surface water flow network. In this paper we present the development of the methodological part with special regard to the usability of remote sensing and other GIS data.

Keywords

Integrated water management, urban hydrology, runoff-infiltration estimation, GIS.

BEVEZETÉS

Az urbanizációs és urbanizálódási folyamatok során elkerülhetetlenül átforgásra kerül a táj, a művi és természetes felszínrészek aránya a művi felé tolódnak el. Mindkét folyamat jellemző a legtöbb európai nagyvárosra, ahol az előrejelzések alapján számos esetben a városi lakosság száma emelkedni fog. Az Európai Unió statisztikái szerint a tagállamok népességének 75%-a nagyvárosokban él, ez a szám pedig 2020-ig 80%-ra emelkedik (*Lakhar és társai 2018*), amely komoly kihívásokat jelent. Súlyosbítja a helyzetet, hogy a mérsékelten fejlett, illetve a fejlődő országokban az urbanizációs folyamatok jellemzően a szegénység elmélyülésével és lazább környezetvédelmi gyakorlattal járnak együtt. Mindezek a környezet állapotának további romlását idézik elő, aminek egyenes következménye a termőföldek minőségének degradációja, a fokozódó erdőirtás, levegőszennyezés, valamint vízszennyezés, a vízi és szárazföldi ökoszisztémák és várhatóan a felhasználható öntözővíz mennyiségének és minőségének romlása (*Baud 2000*). Ezek a folyamatok nem csupán lokálisan

vagy regionálisan okoznak problémát, de sok esetben globálisan is komoly következmények jelentkezhetnek.

A fent említettek miatt a városi tervezőknek fokozott figyelmet kell fordítaniuk a természetes rendszerekre, hiszen a városok fenntartható működése nélkül nem lehet fenntartható világot sem kialakítani (*Deelstra és Girardet 2000*). Ahhoz, hogy a városok biztosítani tudják saját fenntartható működésüket és környezetük hosszútávú jó teljesítményét, a szakembereknek az úgynevezett körkörös anyag- és energiacsere-rendszerekben ajánlott gondolkodniuk, integrált szemléletmódot alkalmazva. Ezeknek a rendszereknek szinte minden egyes alrendszerében megjelenik a víz, illetve minden esetben van visszahatás arra. Az urbanizációs folyamat hatással van a vízgyűjtőkre, növelve a lefolyás sebességét és mennyiségét, emellett pedig csökkenést eredményez a beszivárgás és az elfolyás esetében (*Cofie és társai 2006, Orsini és társai 2013*), ezzel egyidejűleg a vízellátás forrásai csökkennek vagy stagnálnak, ugyanakkor a vízellátás minősége is csökken (*Niemczynowicz 1999*).

Az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) által 2016-ban elfogadott, a városokhoz való jogról szóló charta kijelenti, hogy biztosítani szükséges a környezeti fenntarthatóságot a tiszta energia és a földterőforrások fenntartható felhasználásának elősegítésével a városi fejlesztések során, az ökoszisztémák és a biológiai sokféleség védelmével. Ebbe beleértik az egészséges életmódot, a természettel összhangban történő fejlődést, a fenntartható fogyasztási és termelési minták előmozdítását, a városi ellenálló képesség fejlesztését, a katasztrófakockázatok csökkentését, valamint az éghajlatváltozás enyhítésével az ahhoz való alkalmazkodást az ENSZ által elfogadott 6. fenntartható fejlődési céllal (SDG 6) együtt (Internet 1). Kijelenthető, hogy komplex tervezési és cselekvési programokban látják a jövőt.

A Tisza vízgyűjtő területén a vízgyűjtő-gazdálkodás és a városi hidrológiai rendszerek tervezését eddig elkülönítették, noha a különböző ágazatok ugyanazokat a vízkészleteket használják. Számos esetben konfliktus alakult ki a különböző döntéshozatali folyamatok során.

Hagyományosan a városi vízgazdálkodás egyes kérdéseit különféle tudományágakban külön-külön tárgyalják és oktatják, mint a mérnöki munka, természet- és környezet-tudomány, természetvédelem (Fletcher 2013). Így, ha a várostervezés különböző területein működő szakértők közötti kommunikáció nem megfelelő, az akadályt jelent. Sok nagyvárosban, a városi hidrológiai rendszerekben eltérő és kevésbé összehangolt döntéshozatali mechanizmus működik: az esővíz, az ivóvíz és a szennyvízkezelés nincs közös keretbe integrálva (Mourad és Krajewski 2002). Ez nem teszi lehetővé a hidrológiai ciklus lezárását a városi területeken, a fejletlen rendszerek fenntartása költséges, és még csak nem is hatékony. Ezek javítása a különféle szakterületek bevonásával, koordinált módon, korszerű eszközökkel kivitelezhető lehet.

A városi hidrológia fókuszában áll a vízelvezetés, a megnövekedett csúcskibocsátás és a városi vízfolyások áradása, de ezek mellett a hagyományos hidrológiai tényezők, úgymint a beszivárgás és az evapotranszpiráció (ET) alakulásával is foglalkozni kell (Fok és társai 1975, Waananen 1969). A természeti és a városi/művi tényezők és hatások együtt járulnak hozzá a városi hidrológia heterogenitásához (Brandes és társai 2005, Schwartz és Smith 2014). A lassú reakció integrálja a domináns változásokat, az urbanizációt kísérő, sok esetben nem kívánatos vízgyűjtő-szintű folyamatokat. Általános, és már évtizedek óta fennálló probléma

például a talajvízszint csökkenés, amelyet a sekély mélységű talajvízszivattyúk használata fokoz. Az urbanizáció általában megváltoztatja a gyors vízáramlást, növekszik a lefolyási hányados és a csúcskibocsátás (Beighley és Moglen 2002, Farahmand és társai 2007, Huang és társai 2008).

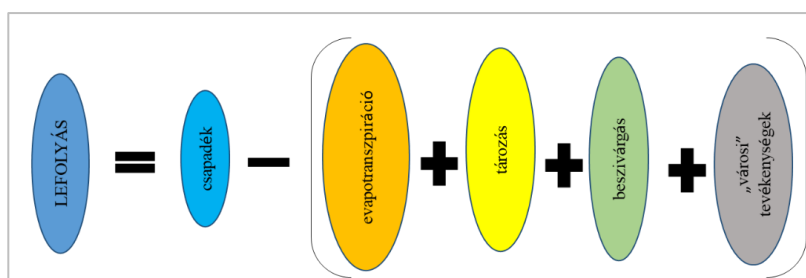
A városi hidrológiai elemzések integrált megközelítést digitális városi modellek tudják támogatni akár 2D, akár 3D formátumban (Niernczynowicz 1999). A távérzékelési technológiák (pl. spektrális képfeldolgozás), a nyilvánosan elérhető GIS-adatok nagy városi területeket képesek gyorsan és költséghatékonyan lefedni, csökkentve a városi hidrológiai modellek térbeli bizonytalanságát, és javítva a döntések térbeli hatékonyságát. A városi hidrológia igényli az egyszerű és új technikák fejlesztését, mindkettő a technikai kihívásokkal foglalkozik városi környezetben, reagálva a városi közösségek igényeire (Fletcher 2013). A térinformatikai tudományok egy speciális területe a városi környezetek vizsgálata, amely ökológiai, klimatológiai, társadalom és gazdaságföldrajzi, energetikai, hidrológiai stb. szempontból is vizsgálhatja a kiválasztott városi területet (Csorba 1996, Rózsa 2004, Unger és társai 2006, Buday 2016). Erősen strukturált, több, akár egymással részben átfedő fázisban, időben és térben egyenetlen módon alakított és változó környezetről van szó, amely megnehezíti az egzakt leírásokat, az összehasonlíthatóságot.

Jelen cikkben bemutatott eredmények az INTERREG Danube Transnational Programme keretében támogatott JOINTISZA projekt során végzett kutató munka eredményeinek egy részét tartalmazzák (Tamás és társai 2019a és 2019b), mely kutatás fő célja a városi területek hidrológiai ciklusát befolyásoló térbeli tényezők feltárása volt. Az eredményeket két nagy és növekvő lélekszámú városra, Debrecenre és Nagyváradra alkalmazva mutattuk be a projekt során, a jelen cikkben a módszertan bemutatásához a projektben készített térképeket használtuk fel.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Modellezés

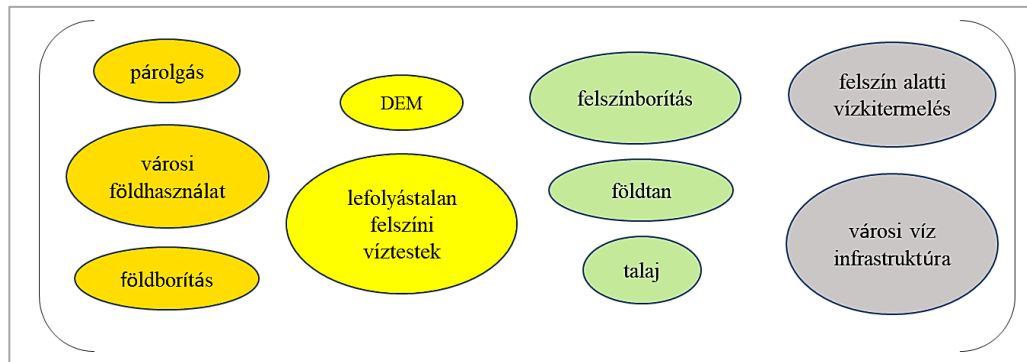
A városi vízforgalom kiszámításához kifejlesztett általános modellkonceptió szerint a lefolyást becsülni lehet a tényleges evapotranszpiráció és a beszivárgás mennyisége mellett az összegyűjtési területek vízmennyiségével, a városi vízinfrastruktúra rendszeréből származó vízbevitellel és a városban zajló tevékenységek becsülésével. A kapott adatokat a csapadék mennyiségéből extraháljuk (1. ábra).



1. ábra. A városi vízmérleg számításának általános modellkonceptiója
Figure 1. General model concept for urban water balance calculation

Ennek az egyenletnek a megoldásához ki kell számolni az összegzés egyes részeit. Ehhez a következő adattípusokat alkalmaztuk: párolgás, városi földhasználat, földborí-

tás, digitális domborzat modell (DEM), lefolyástalan felszíni víztestek, felszíni földtan, talajjellemzők, felszín alatti víz kitermelés és a városi víz-infrastruktúra (2. ábra).



2. ábra. Bemeneti összegzési adatkészlet típusok a városi vízmérleg számítás általános modelljéhez
Figure 2. Input summary data set types for the general model of urban water balance calculation

Csapadék és párolgás

A csapadék (PREC) és a potenciális evapotranszpiráció (PET) meghatározására szolgáló számításokhoz az adatok a CarpatClim (<http://www.carpatclim.eu/pages/atlas/>) adatbázisából kerültek letöltésre. A kettő különbségét finomított raszterhálójával használhatjuk bemeneti adatként, amennyiben a tényleges párolgást más módszerrel nem tudjuk megbecsülni. A tényleges párolgás kiszámítására számos képlet ismert (FAO 1998), és a felhasználó döntése, hogy a rendelkezésére álló adatok figyelembevételével melyiket építi be a térinformatikai modellbe. Ezek közül az egyik széles körben használt egyszerűbb összefüggés abból indul ki, hogy a tényleges párolgás a potenciális párolgás és az úgynevezett növényi koefficiens szorzata, amelyet az 1. képlet szemléltet.

$$ET = k \cdot PET \quad (1)$$

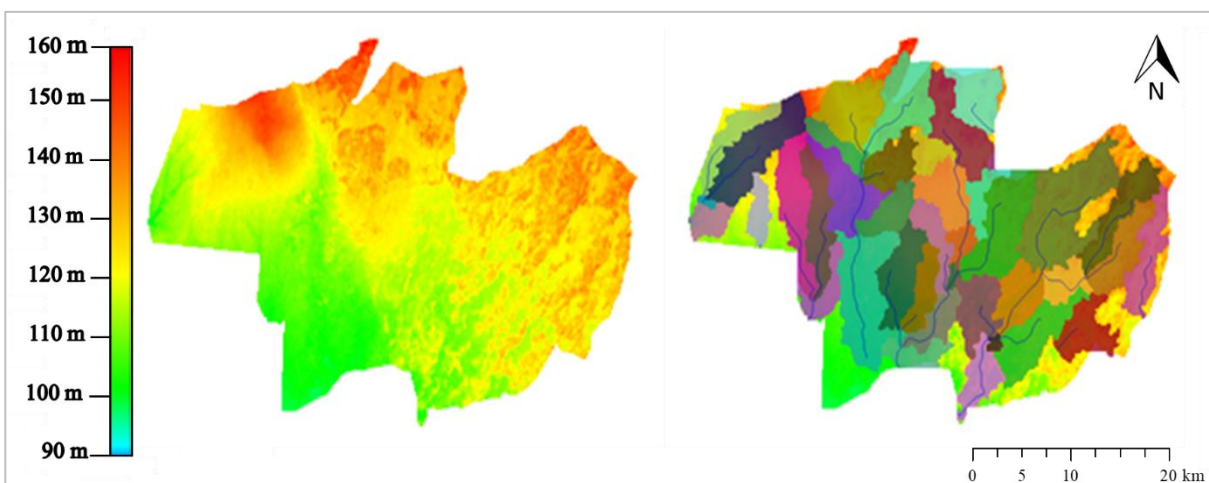
ahol ET = tényleges evapotranszpiráció,
k = növényi koefficiens,
PET = potenciális evapotranszpiráció.

A növényi koefficiens függ a területen található növény fajtájától, annak vegetációs állapotától, valamint a klimatikus adottságoktól (napi átlaghőmérséklet, csapadékoság). Értékére számos szakirodalmi adat létezik, amelynek térbeli és időbeli alakulását a modellbe beépíthetjük. A növényi koefficiens pontosítására további lehetőség a liziméteres mérésekkel való összevetés, illetve az

adott raszter-egységre eső növények távérzékelési módszerekkel történő vegetációs indexének (Szilagyi és társai 1998, Labedzki 2011, Kamble és társai 2013) figyelembevétele. Egy adott terület NDVI Normalizált Differenciált Vegetációs Index értékeinek különböző időpontokban (pl. a vegetációs időszak előtt, közepén és a végén) történő összehasonlításával meghatározható az épített területek, szántóterületek, erdők, kertek, fasorok, parkok, utak területi arányai. Az NDVI egy dimenzió nélküli mérőszám, amely a spektrális tulajdonságok alapján, meghatározott képlet szerint, numerikus formában megmutatja a mért objektum fotoszintetikus aktivitását (Rouse és társai 1974). Jelen tanulmányban az Európai Űrügynökség (ESA) által szolgáltatott Sentinel2 műhold spektrális mérési adatai alapján készültek ezek a számítások, a 2018-as év februári és májusi adatai alapján.

Tározás

A felszíni vizek összegyülekezését és tározását döntően a domborzati viszonyok határozzák meg. Általánosan megállapítható, hogy a hazai domborzati viszonyok a felszíni víztestekben való nagymértékű tározást nem teszik lehetővé (EC 2015), ami különösen igaz az alföldi területekre. Elkészítettük a vizsgálati területek digitális domborzatmodelljét (DEM), melynek alapját az ASTER GDEM adta. Ezt felhasználva generálható lett a lejtőtérkép, valamint a vízgyűjtő-alegység térkép a felszíni vízáram irányának térképével (3. ábra).



3. ábra. DEM ASTER adatok alapján készült vízgyűjtő felosztás a GlobalMapper szoftverkörnyezetben, Debrecen településre
Figure 3. Watershed division based on DEM ASTER data in the GlobalMapper software environment for Debrecen City

A domborzat térképek és a területhasználati térképek használatával azonosíthatók azok a raszterek is, amelyek a modellben felszíni víztestként (itt felszíni állóvizekként) értelmezhetők. Ezek időben változó vízszintjei – amelyek rendszeresített vízmércék vagy terepi mérések alkalmazásával számszerűsíthetők – jelentik a tározás változását. Ennek aktuális értéke minden egyes felszíni víztest, illetve az azokat reprezentáló raszterek esetében kiszámítható a raszter méretének és a változás értékének szorzatával (2. képlet), részletesebb információk rendelkezésre állása esetén az egyes tározók jelleggörbéinek használatával (Madarassy 2003):

$$\Delta S = \sum_i \Delta h_i \cdot A \quad (2)$$

ahol ΔS = a tározott vízmennyiség változása,
 Δh_i = a vízszintmagasság változása az i -edik vízborított raszternégyzeten
 A = a raszternégyzet területe.

Abban az esetben, ha a felszíni vizek aránya kicsi és a vízmérlegszámítással érintett időszak éves nagyságrendű, a tárolásban bekövetkezett változások a vízmérlegből elhagyhatók (EC 2015). A debreceni példán számításaink szerint a település felszíni állóvizei 1 m-es vízszintemelkedés során a lehullott évi csapadék mennyiség 1 %-át tudnák tárolni, mely a többi értékhez képest elenyésző.

Kisebbségi területek, illetve rövidebb időszakok esetén a tározás változása a vízmérleg számottevő arányát adhatják, ekkor a részletes kalkuláció indokolt lehet. A felszíni víztestek potenciálisan aktív részei lehetnek a hidrológiai folyamatoknak, mind szélsőséges vízvesztés (például aszály), mind pedig vízfelesleg (például extrém csapadék-hullás vagy hóolvadás) esetén. Ugyanakkor fontos szerepük lehet a beépített területeken lehullott, de onnan kivezetett víz tárolásában öntözési, rekreációs és egyéb célú hasznosítása szempontjából. Ezért a döntési folyamatok lefolyási modelljeiben javasoljuk ezeknek a területeknek a külön kezelését, mind térbeli mind időbeli szempontok alapján.

Beszivárgás

A beszivárgás számításához alapvető bemeneti adatokként elsősorban földtani és talajtulajdonságok ismeretére van szükség. Noha a földtani adottságok jellemzően nem változnak meg emberi léptékben mérve, egy terület talajjellemzői különösen városi környezetben már inkább. Általában a tereprendezések és építkezések miatt módosulnak a városi területek talajai, amelyek új talajtípust eredményeznek, amelyet összefoglaló néven városi és ipari talajoknak nevezünk (Lehmann 2006, Rossiter 2007). Ezeket a hagyományos talajtérképek ritkán írják le, továbbá a hidrológiai tulajdonságaikat sem lehet könnyen meghatározni, mivel ezek a talajok általában különféle anyagok keverékei és fiziko-kémiai, valamint geometriai jellemzőik nagy változatosságot mutatnak. Ezek a tényezők nehézségeket jelentenek a beszivárgás számításánál olyan nem fedett városi területeken, ahol potenciális beszivárgás történhet. Mivel nem volt lehetőségünk vizsgálati területeink feltérképezésére ebből a szempontból, ezeket a jelen modellbe nem építettük be. A fizikai talajfeleség meghatározza a területre jellemző beszivárgási görbét és minimális

beszivárgási kapacitást (FAO 1990), melyből a csapadék-hullások intenzitásának és hosszának ismeretében az infiltrációs együttható becsülhető. A modellbe így a fizikai talajfeleség alapján 5%, 10%, 15% és 20%-os infiltrációs együtthatóval rendelkező zónákat határoztunk meg: például a szikes és iszapos, agyagos területeken alacsony az infiltrációs együttható értéke, míg a lösznél és a homoknál pedig magasabb (1. táblázat).

1. táblázat. Fizikai talajfeleségekre becsült beszivárgási együttható értékek

Table 1. Estimated infiltration coefficient values for physical soil types

Fizikai talajfeleség	infiltrációs együttható (%)
homok	20
lösz	15
homok, iszap	15
iszap, lösz	10
lösz, iszap	10
iszap	10
mésziszap	10
homok, agyagos iszap	10
szikes talaj	5
iszap, agyag	5

A beszivárgással kapcsolatban fontos kiemelni, hogy a szél vagy a víz által szállított finom por jelentősen, de nem permanens módon módosíthatja egy terület beszivárgási tulajdonságait. Ahol akár csak egy vékonyabb réteg finom szemcseméretű üledék felhalmozódásra kerül, ott vízzáró kéreg alakul ki, amelynek következtében a beszivárgás csökken. A talaj tömörülése, amelyet a szállítás és a tereprendezés okoz, szintén csökkenti a beszivárgás mértékét, mivel a tömörítés miatt a talaj pórustérfogata csökken. Fontos egy adott terület felszínborításának és talajfedettségi százalékának meghatározása, mivel a beépített fedett területek, amelyek a városok meghatározó jellemzői széles térbeli heterogenitást mutatnak. Még egy típuson belül is meg lehet mérni a nagyobb különbségeket. A nagy blokkházakból épített lakóövezetek és a kertekkel lakott lakóövezetek hidrológiai szempontból is nagyon különböznek egymástól. Az első esetben alacsonyabb beszivárgás várható.

Ahhoz, hogy a felszínborítottság mértékét a településen belül becsülni tudjuk, szintén vizsgáltuk a vegetációt, az NDVI érték változásából meghatározott adatokat felhasználva. A fedett területek megkülönböztetése céljából kiszámoltuk a 2018. februári és májusi NDVI értékeket és a kettő közti különbséget. Értelmezésünk szerint, ahol a februári időszakban a vegetáció téli aktivitásának megfelelő NDVI értékek határozhatók meg, ott a városon belül zöld felület, nem fedett terület található. Amennyiben az egy pixelen belül (10 m*10 m) egyaránt található fedett és nem fedett térrész, ott az NDVI érték a beépítettség arányának függvénye (4. ábra). A fedett és fedetlen területek pontos aránya az adott pixelen belül a környező fedett és fedetlenek azonosított pixelek értékeinek használatával határozhatók meg. Ez a művelet gépi tanulás (osztályba sorolás) pontosítható és kalibrációval ellenőrizhető. E pontosítás hiányában a részben fedett területekre 50%-os fedettségi érték használható.

Azokon a területeken, ahol fedetlen felszíneket azonosítunk a beszivárgási százalék értékeként elfogadható a fizikai talajféleség alapján meghatározott beszivárgási hányad, a beépített területeken a beszivárgás 0 %, a részben fedett területeken pedig a meghatározott fedetlen felszín arányával meg kell szorozni a szabad felszínre meghatározott értéket (3. egyenlet).

$$I = p \cdot c \cdot PREC \quad (3)$$

ahol I = az adott raszternégyzetre jellemző beszivárgás,
 c = beszivárgási hányad [%],
 p = vegetációs indexből fedettségi érték,
 $PREC$ = az adott raszternégyzetre jellemző csapadék.



4. ábra. A fedett, részben fedett és fedetlen városi területek meghatározása 2018 februári NDVI értékek alapján, valamint a májusi és februári NDVI értékek különbség-térképe Debrecen belvárosának ÉNY-i részén

(Megjegyzés: Az alaptérkép az ESRI World Topographic Map rétege)

Figure 4. The covered, partly covered and uncovered (green) areas are defined by using NDVI map of February 2018 and a map showing the difference between the NDVI values of February and May 2018 on NW part of Debrecen city centre

(Note: The base map is the ESRI World Topographic Map layer)

Emberi tevékenységek, hatások

Különböző emberi tevékenységek közvetlen és/vagy közvetett módon befolyásolják a városi térségek vízmérlegét. Bizonyos földhasználati típusokhoz kapcsolódó emberi tevékenységek során számottevő mennyiségű vízfelesleggel számolhatunk, például kertés területeken, ahol öntözés/locsolás zajlik az év egy részében, vagy öntözött szántóföldi területeken, ahol az öntözés a felszín alatti víztestből történik, vagy olyan, a városban fellelhető egységeknél, ahol termákvíz kitermelése és hasznosítása folyik, de kezelése a város más részén történik. Ezeket az elemeket nem lehet térben és időben folyamatosan pontosan meghatározni, de a legtöbbjük becsülhető azoknak a területeknek a meghatározásával, ahol ezek a tevékenységek előfordulnak, például a külvárosokban a víz felhasználásával, amelyet kisebb szivattyúk használnak fel a sekélymélységű felszín alatti vízáadó rétegekből. Ezzel a tevékenységgel módosítunk a vegetáción, a párolgási mértéken, a talaj nedvességtartalmán, a talaj fizikai és kémiai tulajdonságain és az első vízzáró réteg feletti térrész hidrológiai tulajdonságain.

A városi vízhálózati infrastruktúra hagyományosan magába foglalja az ivóvízrendszert, a szennyvízhálózatot, az esővíz-elvezető rendszert és a szennyvízkezelést. Ezen részeknek a felépítése és állapota, valamint az alkalmazott technológiák is befolyásolják a városi vízháztartási mérleget. A mesterséges gyűjtési módszerek, mint például lakossági esővízgyűjtés vagy záportározók alkalmazása az

esővíz-elvezető rendszerrel együtt csökkentik a lefolyás mértékét, ezért a modellben ezeken a területeken a lefolyás becsült értékét a szabad felszín arányának megfelelően csökkentettük.

Fontos megjegyezni, hogy egyre több veszteség lép fel a városi vízhálózati infrastruktúrákban az idő múlásával, hiszen a csövek elöregedése miatt kisebb-nagyobb elszivárgások vagy törés esetén akár intenzívebb vízvesztés is előfordulhat (Hajnal 2002). Amellett, hogy ez a vízmenyiség további károkat okozhat a városi infrastruktúrában, az érintett területeken növelheti a lefolyást azáltal, hogy növeli a felszín alatti sekély térrész víztelítettségét, így mérsékli a beszivárgást.

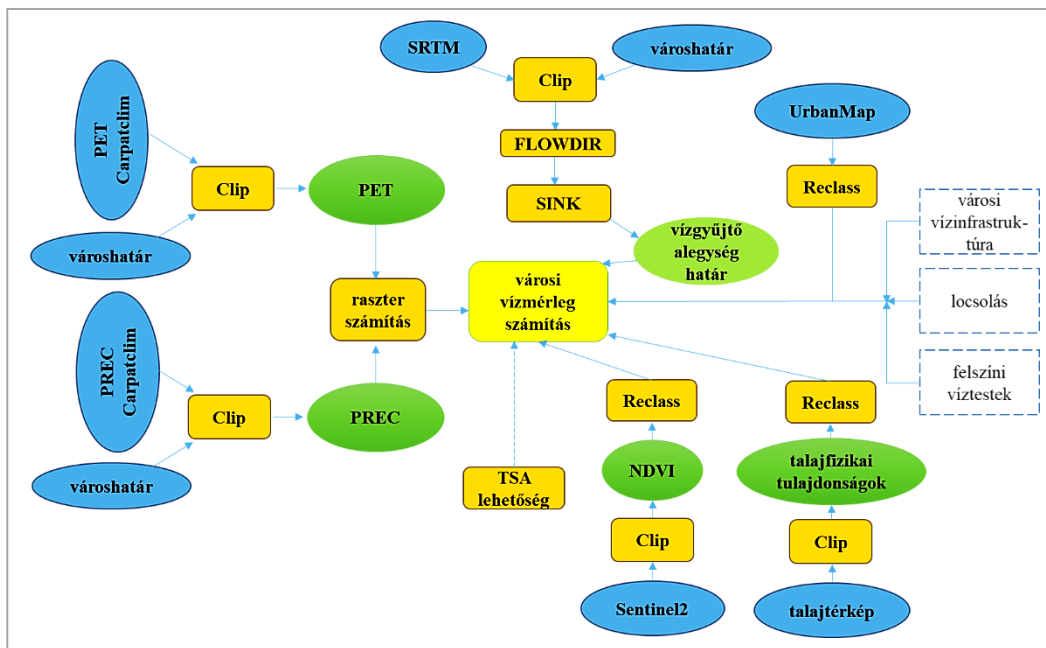
Vízfogyasztásról és az elszivárgó vizek becsült értékéről a vízszolgáltató cégektől lehet adatot kérni. Ezek közül az elszivárgó vizek a vízmérlegben nem kerülnek számszerűsítésre, amennyiben felszín alatti vízről van szó, és az a felszín alatt szivárog el. Ezzel szemben a használati vizek központosítottan vagy egyénileg felszíni befogadók kerülnek. Előbbiről a víztisztításért felelős cégek, utóbbi esetében a kormányhivatalok, ill. az érintett fogyasztók tudnak tájékoztatást adni.

EREDMÉNY – A MODELL

A fent bemutatott városi hidrológiai modellkonceptió alapján elkészített GIS modellt az 5. ábra szemlélteti. A cél az volt, hogy több városra is alkalmazható módon állítsuk össze a GIS alapú modellt, így az a megfelelő bemenő adatokkal más városra is lefuttatható legyen vagy ugyan-

arra a városra más-más időszakra. Az így kapott eredménytérképek pedig összehasonlíthatókká, idősoros elemzésre alkalmassá válnak. Az összehasonlíthatóságot a modell nem csupán térben, de akár időben is biztosítani tudja.

Ugyanarra a területre, több éves időszakra lefuttatott eredménytérképekkel, az idősíkról idősíkra történő változások egyszerű térképi kivonási művelettel generálhatók és kiértékelhetők.



5. ábra. Az elkészített városi hidrológiai GIS modell
Figure 5. The prepared urban hydrological GIS model

A hidrológiai GIS modell öt fő modellelemből áll: a) a csapadék és az evapotranszpiráció különbségének térképéből, b) a lefolyási irányok (FLOWDIR művelet) és vízgyűjtő aleggység lehatárolását (SINK művelet) bemutató térképéből, c) a városi területhasználati/területtípusból származtatott térképéből, d) a talajtípus és borítottság alapján elkészített beszivárgási térképekből, valamint e) a felszíni víztestek térképéből (álló- és folyóvizek), a felszín alatti vízkitermelésre vonatkozó becslésből és a városi infrastruktúra térképéből.

A módszertani részben bemutatott elvek alapján számítékekkel paraméterezhetők a városi területek (Reclass), melyekkel térképi műveletek végezhetők, úgymint kivágás (Clip) és rászterenkénti algebrai műveletek. Úgynevezett idősoros elemzésre is lehetőség van, erre vonatkozik a TSA (Time Series Analysis) rész.

A modellezés fókuszában a lefolyás meghatározás áll, minden paramétert annak megfelelően állítottunk be, hogy az adott terület adott jellemzője azt csökkenti vagy növeli. Ilyen módon minden modellelem felparaméterezett térkép, amelyekkel térképi algebrai műveletsorozatot végezve megkapjuk az adott város, adott idősíkban jellemző vízmérlegét. A kapott térképek segítségével meghatározhatók a vízhiányos területek, a város egyes pontjain jelentkező felszíni víz többletek, a tárolásra potenciálisan alkalmas területek, így a bemutatott modell alkalmazásával az extrém lefolyás és a vízhiány okozta károk tervezett vízkormányzással csökkenthetők.

KÖVETKEZTETÉSEK

Az elkészített modell adatigénye nagy, de sok esetben a már meglévő uniós, országos vagy regionális adatbázisok

elérhetőek és alkalmazhatóak, melyek megkönnyítik az adatösszeállítási munkafolyamatot.

A makro- és mezoskála adatbázisok térbeli felbontása általában alacsony, ezek felhasználása a térbeli tényezők meghatározására regionális modellek esetén és az összehasonlíthatóság szempontjából előnyös lehet. Fontos megjegyezni, hogy az alkalmazott modell megbízhatóságát erősen befolyásolja az adatminőség és az adatharmonizáció sikere. A Tisza-vízgyűjtőn levő Debrecen városra elvégzett mérési és adatgyűjtési munka jellemzőit tekintve is heterogén képet kapunk, mert vannak olyan régiók, ahol adathiány van vagy a meglévő adatkészletek nem megfelelő minőségűek.

A vízkörfogás egyes elemeinek térbeli és időbeli vizsgálatával a területen aktuálisan jelenlévő és emberi célra felhasználható vízmennyiségről is képet kapunk, így a megfelelően átgondolt modellek rendkívüli fontosságúak a fenntartható vízgazdálkodásban. Figyelembe véve az elmúlt évtizedek és a jövő változó környezeti feltételeit és társadalmi igényeit ezek az információk várhatóan még nagyobb jelentőséggel fognak bírni (EC 2015). A bemutatott modell alkalmazásával megbecsülhető a városi területek vízmérlege akár teljes városokra vagy csupán kisebb léptékekben, mint például városi kerületek, biztosítva ezzel a fent említett változásokhoz való alkalmazkodást. Ezen becslések alapján olyan tanulmányok és fejlesztési tervek készíthetők, amelyek a vízgazdálkodás szempontjából integráltabb és tudatosabb erőforrás- és hulladékgazdálkodást segíthetnek elő, támogatva ezzel a városi közigazgatási szakemberek, fejlesztők munkáját.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutatást az INTERREG DTP JOINTISZA projekt, valamint a TÁMOP 4.2.4. A/2-11-1-2012-0001, "Nemzeti Kiválóság Programnak" és a Komplex vidékgazdasági és fenntarthatósági fejlesztések kutatása, szolgáltatási hálózatának kidolgozása a Kárpát-medencében című projekt (EFOP-3.6.2-16-2017-00001) támogatta.

IRODALOM

- Baud, I. S. A.* (2000). Collective action, enablement, and partnership: issues in urban development. http://www.ucl.ac.uk/dpuprojects/drivers_urb_change/urb_governance/pdf_partic_proc/IHS_Baud_collective_action.pdf Letöltve 2012 november 12.
- Beighley, R.E., Moglen, G.E.* (2002). Trend assessment in rainfall-runoff behaviour in urbanizing watersheds. *J. Hydrol. Eng.* 7 (1), 27–34.
- Brandes, D., Cavallo, G.J., Nilson, M.L.* (2005). Base flow trends in urbanizing watersheds of the Delaware River basin. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 41 (6), 1377–1391.
- Buday, T.* (2016). Geotermikus hőszivattyús rendszerek primeroldali kiépíthetőségének térinformatikai vizsgálata városi területeken. In: Balázs Boglárka (szerk.), Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VII., Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetemi Kiadó. pp. 107-114.
- Cofie, O., Bradford, A. A., Dreschel, P.* (2006). Recycling of urban organic waste for urban agriculture. In: Veenhuizen R van (ed) *Cities farming for the future. Urban agriculture for sustainable cities*, RUAF Foundation, IDRC and IIRR, pp 207–240.
- Csorba, P.* (1998). Debrecen városökológiai térszerkezete. *Acta Geographica Debrecina*, 34. pp. 95-125.
- Deelstr, A T., Girardet, H.* (2000). Urban Agriculture and Sustainable Cities. In: N. Bakker, M. Dubbeling, S. Gundel, U. Sabel-Koshella, & H. de Zeeuw (Eds.), *Growing Cities, Growing Food: Urban Agriculture on the Policy Agenda* (pp. 43-66).
- European Commission* (2015). Guidance document on the application of water balances for supporting the implementation of the WFD. Technical Report, European Union, 126 p.
- FAO* (1990). Rome: FAO Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organisation of the United Nation.
- FAO* (1998). Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56 Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements).
- Farahmand, T., Fleming, S.W., Quilty, E.J.* (2007). Detection and visualization of storm hydrograph changes under urbanization: an impulse response approach. *J. Environ. Manage.* 85 (1), 93–100.
- Fletcher, T.D., Andrieu, H., Hamel, P.* (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, 51 (2013) 261–279.
- Fok, Y.S., Fredrich, A.J., Hawkins, R.H., Kisiel, C.C., McPherson, M.B.* (1975). Aspects of hydrological effects of urbanization. *J. Hydraul. Div., ASCE*, 101 (5), 449–468.
- Hajnal, G.* (2002). A budai Várhegy vízmérlege. *Hidrológiai Közlöny*, 82. évf. 1. szám. pp. 31-37.
- Huang, H.J., Cheng, S.J., Wen, J.C., Lee, J.H.* (2008). Effect of growing watershed imperviousness on hydrograph parameters and peak discharge. *Hydrol. Process.* 22 (13), 2075–2085.
- Kamble, B., Irmak A., Hubbard K.* (2013). Estimating Crop Coefficients Using Remote Sensing-Based Vegetation Index. *Remote Sensing*, 1588–1602. *Labeledzki, L. (ed.)* (2011). *Evapotranspiration*. Rijeka, InTech, 446 p.
- Lakhari, I. A., Gao Jianmin, Tabinda N. S., Farman, A. C., Noman, A. B., Waqar, A. Q.* (2018). Monitoring and Control Systems in Agriculture Using Intelligent Sensor Techniques: A Review of the Aeroponic System. *Hindawi Journal of Sensors Volume 2018, Article ID 8672769*, 18 p.
- Lehmann, A.* (2006). Technosols and other proposals on urban soils for the WRB (World Reference Base for Soil Resources). *International Agrophysics*. 20 (2). pp. 129–134. *Mourad, M., Bertrand-Krajewski, J. L.* (2002.) A method for automatic validation of long time series of data in urban hydrology. *Water Science Technology*, 45 (4-5). pp. 263-270.
- Madarassy, L.* (2003). Tározótavak tervezése, Egyetemi jegyzet kézirat, BME-Corvinus Egyetem, Budapest.
- Niemczynowicz, J.* (1999). Urban hydrology and water management ± present and future challenges *Urban Water* 1 (1999). pp.1-14.
- Orsini, F., Kahane, R., Nono-Womdim, R., Gianquinto, A.* (2013). Urban agriculture in the developing world: a review. *Agron. Sustain. Dev.* (2013) 33:695–720.
- Rossiter, D.G.* (2007). Classification of Urban and Industrial Soils in the World Reference Base for Soil Resources. *J Soils Sediments* 7. pp. 96–100.
- Rózsa P.* (2004). Város és környezet. Debrecen, Debreceni Egyetem Kossuth Egyetemi Tudományos Akadémia, 465 p.
- Rouse, J.W, Haas, R.H., Scheel, J.A., Deering, D.W.* (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, vol. 1, pp. 48-62.
- Schwartz, S. S., Smith, B.* (2014). Slow flow fingerprints of urban hydrology. *Journal of Hydrology* 515 (2014) 116–128.
- Szilágyi, J., Rundquist D.C., Gosselin, D.C.* (1998). NDVI relationship to monthly evaporation. *Geophysical Research Letters* 1753–1756.
- Tamás J., Nagy A., Nistor, S., Fehér J.* (2019a). Manual for Knowledge Development Tools and Knowledge Transfer in Urban Hydrology. University of Debrecen Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management. ISBN: 978-963-490-163-1.

Tamás J., Nagy A., Buday-Bódi E., Gálya B., Nistor, S., Fehér J. (2019b). Guideline -Application of the Process Oriented Spatial Decision Support Tools Methods in Urban Hydrology for Middle-Sized Cities in CEE Based on the Reference Sites Guideline -Application of Process Oriented Spatial Decision Supporting Tools, University of Debrecen Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management. ISBN: 978-963-490-162-4.

Unger, J., Sümegehy, Z., Gulyás, Á., Bottyán, Z., Mucsi, L. (2006). Land-use and meteorological aspects of the urban heat island. Meteorological Applications Volume 8, Issue 2, pp. 189-194.

Waananen, A.O. (1969). Urban effects on water yield. In: Moore, W.L., Morgan, C.W. (Eds.), Effects of Watershed Changes on Streamflow. University of Texas Press, Austin, TX, pp. 169-182.

Internet 1: <https://www.ksh.hu/sdg>.

A SZERZŐK



TAMÁS JÁNOS a Debreceni Egyetem Víz-és Környezetgazdálkodási Intézetének igazgatója; agrármérnök, agro-kémiai, vízgazdálkodási és térinformatikai szakmérnök. 2007-ben megkapta Magyar Tudományos Akadémia Doktora címet. Elismerései: Az év publikációja díj, Környezetért díj, Sajtó Elemér vízgazdálkodásért díj, Hatvani professzori kutatási díj, Magyar Köztársaság Lovagkeresztje. Publikációinak száma közel 500, tankönyvek száma 16. Több szakkönyvet jegyzett a precíziós mezőgazdaság és a vízgazdálkodás területén. Szűkebb szakterülete a talaj és a környezet állapotának modellezése térinformatikai és távérzékelési eszközökkel. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja, a Hidrológiai Közlöny szerkesztőbizottságának 2015 óta tagja.

BUDAYNÉ BÓDI ERIKA a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetében tanársegéd. 2010-ben geológus specializáción földtudományi kutató, míg 2012-ben geográfus és angol szakfordítói diplomát szerzett a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Karán. Az egyetem Földtudományi Doktori Iskolájának doktorjelöltje. Tudományos pályája során eddig üledékes környezetek földtani modellezésével foglalkozott. Jelenleg a porózus rezervoárok geotermikus potenciálját és a termálvizeket vizsgálja kitermelési, hasznosítási és emissziós szempontból, valamint a távérzékelés és a térinformatika vízgazdálkodási folyamatokban való alkalmazása területén végez kutatásokat. A Magyarhoni Földtani Társulat és az International Association of Hydrogeologists (IAH) tagja.

GÁLYA BERNADETT a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán szerzett környezetgazdálkodási agrármérnök diplomát 2012-ben. A PhD fokozatot 2018-ban szerezte meg. A Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet adjunktusa. Kutatói és tudományos tevékenységei: az aszály és belvíz előrejelzés módszertani fejlesztése, és a különböző aszályjelenségek, belvízi mérési index adatok összehasonlítása, összefüggéseinek feltárása, a mezőgazdasági területi anomáliák ok-okozati kapcsolatának meghatározása. 2017-től a Talajtani Társaság tagja, valamint 2018-tól a Debreceni Egyetem Száraz Területek Kutatóközpontjának titkári feladatait látja el.

SZABÓ ANDREA a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán szerzett környezetgazdálkodási agrármérnök diplomát 2018-ban. Jelenleg a Debreceni Egyetem Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola, PhD hallgatója. Kutatásában a vízhiány és az élelmiszer biztonság vízgyűjtő szintű kapcsolatrendszerének, illetve a klímaadaptáció kapcsolat rendszerének spektrális vizsgálatát és értékelését végzi.

FEHÉR JÁNOS a Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett építőmérnöki diplomát 1976-ban, majd a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán PhD fokozatot kapott mezőgazdasági vízgazdálkodási témában írt disszertációja alapján. 1976-tól 1996-ig a VITUKI Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet (mely név az idők során többször változott) kutatója volt. 1996 augusztusától 2008 májusáig terjedő időszakban a VITUKI CONSULT Zrt. angol-magyar vállalat elnöke-vezérigazgatója, majd ezt követően ismét a VITUKI kutatójaként dolgozott tudományos tanácsadói beosztásban, egészen a VITUKI 2012-ben történt kényszerített végelszámolásáig. 1997-től kezdődően számos európai projektben dolgozott az európai felszíni és felszín alatti vízkészletek értékelésében az Európai Környezetvédelmi Ügynökség részére, majd az Európai Bizottság számára a Víz Keretirányelv és a vízgyűjtő-gazdálkodási tervek megvalósításának vizsgálatában. A Debreceni Egyetemen, a Budapesti Corvinus Egyetemen, valamint a Szent István Egyetemen oktatott vízkészlet-gazdálkodás és integrált vízgyűjtő-gazdálkodás tárgykörökben. Több mint 90 publikáció szerzője, társszerzője. A Debreceni Egyetem 2005-ben címzetes egyetemi docensnek, majd 2017-ben címzetes egyetemi tanárává választotta. Tagja volt a Nemzetközi Vízügyi Szövetségnek (IWA), ahol alelnöke (2002-2008), titkárra (2008-2011), majd 2011-től 2014-ig elnöke is volt az IWA Watershed and River Basin Management Specialist Group szakágazatának. 1977 óta tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak (MHT). 2015 óta tagja az MHT elnökségének és 2016-tól főszerkesztője a Hidrológiai Közlönynek. Az MHT Pro Aqua díj, az MHT Vitális Sándor szakirodalmi nívódíj, valamint a BM Kvassay Jenő Emlékérem kitüntetéséje.

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

Nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának új vizsgálati módszerei 2. - Közvetlen és közvetett lebegtetett hordalékmérési eljárások összehasonlító vizsgálata

Pomázi Flóra* és Baranya Sándor*

* Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (pomazi.flora@epito.bme.hu, baranya.sandor@epito.bme.hu)

Kivonat

Nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának korszerű megfigyelése új vizsgálati módszerek alkalmazását igényli. A hagyományos közvetlen hordalékmérési eljárások mellett széles körben alkalmaznak közvetett, eljárásokat is, melyek alapvetően két nagy csoportba sorolhatók: optikai és akusztikus módszerek. A *Tiszta Ivóvíz* megnevezésű projekt keretében mintegy 500 vízminta elemzésén keresztül vizsgáltuk a direkt és indirekt eljárásokat. Az optikai (LISST-Portable|XR és VELP TB1 kézi zavarosságmérő), illetve akusztikus elven működő (LISST-ABS és ADCP visszavert jelerősség alapján) eszközökkel, eljárásokkal kapott eredményeket a hagyományos filtrációs (szűrőpapiros) módszerrel kapott eredményekkel összehasonlítva megállapítottuk, hogy a direkt és indirekt eljárások közt erős kapcsolat áll fent, miáltal az itt vizsgált indirekt eszközök megbízhatóan kalibrálhatók. A méréseink során szerzett tapasztalatok alapján összefoglaltuk a vizsgált hordalékmérési eljárások előnyeit és alkalmazási korlátait, egyúttal további kutatási feladatokat fogalmaztunk meg. A vizsgált eszközök közül a LISST-Portable|XR az egyedüli, amely a lebegtetett hordalék szemösszetételéről is információt szolgáltat, az optikai beállítások megválasztására és a hőmérsékletre való érzékenysége azonban tovább vizsgálendő. A kézi zavarosságmérő gyors és hatékony eszköz, amely akár a terepen is alkalmazható, de gyorsan ülepedő, durvább szemcséket tartalmazó vízminta elemzését már nagyobb hiba terheli. A LISST-ABS alkalmazása gyakorlati szempontból igen előnyös, példáján keresztül a cikk első részében bemutatott parti zavarosságmérő működését is illusztráltuk. Az ADCP által mért visszavert jelerősség adatok szintén jól alkalmazhatók a hordaléktöménység vízoszlop mentén való vizsgálatára, ám az ehhez szükséges kalibráció érvényességének kiterjesztése további kérdéseket vet fel.

Kulcsszavak

Lebegtetett hordalék, közvetlen mérési módszer, közvetett mérési módszer, ABS, ADCP, filtráció, lézerdiffrakció, optikai zavarosságmérő.

New investigation methods of suspended sediment transport in large rivers 2. – Comparative investigation of direct and indirect analysis methods

Abstract

Establishing and operating a well-functioning sediment monitoring system requires the involvement of state-of-the-art indirect methods. Besides conventional direct sediment analysis methods, indirect methods are widely used. Two major groups of indirect methods can be distinguished: optical and acoustic methods. In the „Tiszta ivóvíz” („Drinking water: multidisciplinary assessment of secure supply from the source to the consumers”) project, direct and indirect procedures were analysed through the analysis of approximately 500 water samples. The results obtained with optical (LISST-Portable|XR and VELP TB1 portable turbidimeter) and acoustic (LISST-ABS and calibration of ADCP backscatter) instruments and methods were compared with the results obtained by the conventional filtration method. There is a strong relationship between the direct and indirect methods, so the investigated indirect devices can be reliably calibrated. Based on the experience gained during the measurements, we discussed and summarized the advantages and limitations of the investigated suspended analysis methods and highlighted further research directions. From the investigated instruments, the LISST-Portable|XR is the only device that provides information on the particle size distribution of the suspended sediment, but its sensitivity to the choice of optical settings and temperature needs to be further investigated. The portable turbidimeter is a quick and effective tool that can be used in the field measurements, but the analysis of a water sample containing coarse particles (with high settling velocity) is rather uncertain. From a practical point of view, using the LISST-ABS has many advantages. Through the calibration of the LISST-ABS, we also illustrate the operation of a near-bank backscatter sensor presented in the first part of this article. Backscatter intensity detected by the ADCP can also be used to analyse the vertical distribution of the suspended sediment concentration, however, the validity of the calibration raises further questions.

Keywords

Suspended sediment, direct measurement method, indirect measurement method, ABS, ADCP, filtration, laser diffraction, turbidimeter.

BEVEZETÉS

Nagy folyók vízrajzi monitoringja (megfigyelése) jellemzően több szervezet (akár több ország) összehangolt együttműködését követeli meg, amiben fontos szerepet kell játszania a lebegtetett hordalékvándorlás jellemzőinek (hordaléktöménység, hordalékhozam, hordalék szemösszetétele) folyamatos mérésének, lehetőleg közel azonos térbeli és időbeli felbontással. Egy jól működő monitoring rendszer kialakítása manapság már mind korszerűbb eljá-

rások alkalmazását igényli, mint például az akusztikai vagy optikai elven működő indirekt módszerek alkalmazása. Mindkét típust széles körben alkalmazzák a hordalékmérésekre is, a működési elvük tudományosan megalapozott, alkalmazási előnyök és korlátai pedig sokak által tanulmányozott.

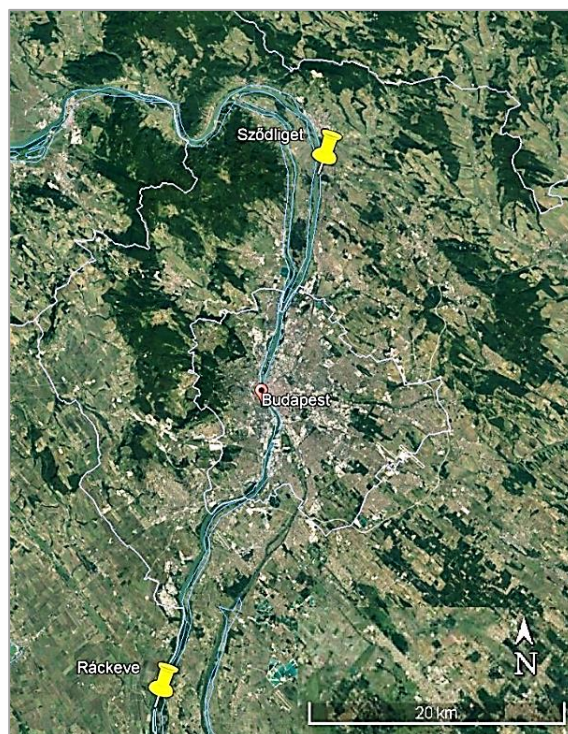
Mivel a tanulmány előző részében részletesen áttekintettük a különféle közvetett és közvetlen elemzési módszereket, jelent tanulmányban az alkalmazott indirekt módszerek két

nagy csoportját (akusztikai és optikai elven működő eszközök) csak röviden mutatjuk be. Az optikai elven működő eszközök az általuk kibocsátott fénysugaraknak a vízmintán történő áthaladása közben a mintában lévő részecskékkel történt kölcsönhatás során tapasztalható megváltozásait mérik, elemzik (Baranya és társai 2017). A vízmintába bocsátott fény (jellemzően lézer- vagy infravörös fény) intenzitása megváltozik, amikor hordalékszempesekkel találkozik – az intenzitás változásának mértékéből következtetni lehet a mintában található szilárd anyag mennyiségére, a hordaléktöménységre. Optikai elven működő eszköz például a terepi mérésre használt LISST-200X és a Solitax ts-line sc szonda, vagy a jellemzően laboratóriumban alkalmazott LISST-Portable|XR és a VELP TB1 kézi zavarosságmérő. Az akusztikus eszközök hasonlóan működnek az optikus eszközökhöz képest, azonban fényhullámok helyett hanghullámokat bocsátanak a vízmintába, s a lebegtetett hordaléktöménységre a hanghullámok visszaverődése alatt bekövetkező változások elemzéséből következtetnek. Ilyen eszköz például a LISST-ABS (Acoustical Backscatter Sensor), de az eredetileg áramlásmérésre használt ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) is. Az optikai és az akusztikus eszközök egyaránt érzékenyek a szemösszetételre, a szemcseméretben jelentkező inhomogenitásra (finom és durva szemcsék).

Jelen tanulmány előzményeként javaslatot tettünk nagy folyók lebegtetett hordalékmonitoringjának módszertani fejlesztésére, amiben a fenti indirekt eljárások kiemelt szerepet kaptak. Ennek a cikknek a célja, hogy a hagyományos (direkt, közvetlen) és a modern (indirekt, közvetett) lebegtetett hordaléktöménység mérési eljárásokra egy összehasonlító elemzés eredményeit mutassa be, annak érdekében, hogy a jelenleg fejlesztés alatt álló hazai lebegtetett hordalékmonitoring jó gyakorlatának kialakítására útmutatásul szolgálhasson. Az összehasonlító értékelő elemzésünket nagyszámú hordalékmérés alapján hajtjuk végre, amit a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával megvalósuló „Tiszta ivóvíz: a biztonságos ellátás multidiszciplináris értékelése a forrástól a fogyasztóig” – továbbibban *Tiszta Ivóvíz* – elnevezésű projekt keretében hajtottunk végre.

A MINTATERÜLETEK

A lebegtetett hordalékmérési eljárások vizsgálata tehát a *Tiszta Ivóvíz* projekt keretében történt, melyben 2019 februárjától egy éven keresztül kéthetente, két mintaterületen (1. ábra) történik lebegtetett hordalékmérés. A *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéke* a két dunai mintaterületen, Sződliget térségében a Duna 1677-1674 fkm és Ráckeve térségében a Duna 1606.5-1604 fkm szelvényei között, mindkét területen 3-3 keresztshelvényben a lebegtetett hordalék méréséért – elsődlegesen a hordalékhozam meghatározásáért – volt felelős. A keresztshelvények kitzűzéséhez Budapest északi és déli ivóvízbázisán 3-3 parti szűrésű kút szelvénye került kiválasztásra, ugyanis a projekt egyik célja a parti szűrésű kutakban található ivóvíz minőségi paramétereinek összekapcsolása hidrológiai, hidromorfológiai és meteorológiai paraméterekkel.



1. ábra. A két mintaterület: Sződliget és Ráckeve
Figure 1. Case study areas: Sződliget and Ráckeve

A kétheti rendszerességű mérések során mindkét területen sikerült a kisvíztől nagyvízig tartó tartományban méréseket végrehajtani, az északi (sződligeti) területen 850-3350 m³/s, a déli (ráckevei) területen 1090-4600 m³/s vízhozam intervallumban. Ennek köszönhetően a mért hordaléktöménység adatok a mérési eljárások tesztelése szempontjából elegendően széles tartományban mozogtak. A jelen cikkben bemutatott eredmények mintegy 500 pontbeli vízminta elemzése alapján készültek.

ALKALMAZOTT MÓDSZERTAN

Terepi mintavétel

A hordalékmérés során a mintavételi pontok függvényként az ún. 5-pontos módszert alkalmazva (vagyis rendre 0,05H, 0,20H, 0,60H, 0,80H és 0,95H mélységben, mindig az aktuális H vízmélység függvényében) (BMFLUW 2017), szelvényenként három függvényben (a függvények helye a projekt során változatlan) kerültek kiválasztásra. A mintavétel a US P-61-A1 izokinetikus mintavevővel történt, a mérést követő pár napon belül pedig a laboratóriumi elemzés is megtörtént. A laboratóriumi elemzés a hagyományos filtrációs eljárás mellett különféle optikai elven működő eszközök (LISST-Portable|XR és VELP TB1 kézi zavarosságmérő) alkalmazásával egészült ki. A terepi mérés során az izokinetikus mintavétellel egyidejűleg, ugyanabban a pontban a LISST-ABS műszerrel akusztikus elvű töménységmérés is történt. Az egyes függvényekben a mintavétel ideje alatt fix hajós akusztikus Doppler elvű (ADCP) áramlásmérés zajlott, amely egyrészt szükséges volt a hordalékhozam számításához, másrészt az ADCP visszavert jelerősség kalibrálása is a függvény menti visszavert jelerősség (*echo intensity* – EI) profilok alapján történt. A függvény menti mérések minden esetben szelvény menti ADCP és LISST-ABS mérésekkel

egészülnek ki. A mozgóhajós ADCP mérések alapján ismert a vízhozam, valamint a visszavert jelerősség kalibrálása után a szelvény menti hordaléktöménység-eloszlás is előállítható. A szelvény menti átkelések során a LISST-ABS műszer is rögzítette egy adott mélységben az ún. kalibrálatlan hordaléktöménységet, amely később a projekt előrehaladtával mind pontosabban volt kalibrálható.

A hordaléktöménység meghatározására alkalmazott eljárások bemutatása

Pozitív nyomású szűrő berendezés

A vízminták elemzéséhez használt pozitív nyomású vízszűrő (2. ábra) az atmoszferikus nyomás többszörösén (max. 8 bar) üzemelő szűrőberendezés, amely egy 1,25 literes, rozsdamentes acélból készült szűrőházzal rendelkezik. A szűréshez 47 mm átmérőjű, 0,45 µm pórusméretű cellulóz acetát membránszűrőt kell a szűrőegység házában lévő porózus korong tetejére helyezni. Az előzőleg mérőhenger segítségével, ml pontossággal meghatározott térfogatú mintát a szűrőtartály tetején található nyíláson keresztül kell betölteni (jellemzően tölcser segítségével).



2. ábra. Pozitív nyomású szűrő berendezés
Figure 2. Pressure filtration equipment

A módszer lépései a következők: (1) az egyesével előkészített, sorszámozott szűrőpapírokat 105°C-on tömegállandóságig kell szárítani, majd tömegüket (m_e) ± 0.1 mg pontosságú analitikai mérleggel kell lemérni; (2) a szűrőpapírt a porózus korongra kell helyezni, s nem feledve a megfelelő tömitést, a szűrőház rögzítése után a ml pontossággal meghatározott térfogatú (V) minta felülről betölthető és a nyomás megnyitásával néhány másodperc alatt átszűrhető; (3) ezután a szűrőpapírokat (immár felületükön a lebegtetett hordalékkal) újból tömegállandóságig kell szárítani 105°C-on, majd lemérni a tömegüket (m_u). A lebegtetett hordaléktöménység (SSC) az alábbi képlet (1) alapján számítható:

$$SSC \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{(m_u - m_e)(\text{mg})}{V[\text{l}]} \quad (1)$$

LISST-Portable|XR

A LISST-Portable|XR műszer (3. ábra) a lézertény kis hajlásszögű szóródását elemzi. A műszer által kibocsátott

lézertény áthalad a meghatározott mennyiségű (117 ml) lebegtetett hordalékos vízmintán, majd eléri a gyűjtőlencsét, ami továbbítja a szóródott fényt a koncentrikusan elhelyezett detektorgyűrűkre (44 db). A detektált fény szóróterülete határozza meg a mintában levő szemcseméreteket, tehát az egyes detektorgyűrűkre különböző mennyiségű fény jut, különböző szemcseméretet detektálnak. Nagy előnye, hogy a különböző szemcseméret-tartományok előfordulása alapján felállítható a szemeloszlási görbe. Alkalmazási lehetőségeit vizsgálta például Rai és Kumar 2017, 2018, a szemeloszlási görbe meghatározásában rejlő lehetőségeket pedig Le és társai 2018. Elméleti mérésstartománya 10-1900 mg/l (a szemcsemérettől függően), $\pm 20\%$ -os megbízhatósággal a 0,34 – 500 µm szemcsetartományban (Sequoia Inc. 2018).



3. ábra. A LISST-Portable|XR
Figure 3. The LISST-Portable|XR

A lebegtetett hordalékszémcsék minél pontosabb detektálásához megfelelően beállításokat kell alkalmazni a hordalék (feltételezett) anyagát (ez alapján lesz ismert a hordalék sűrűsége és az ún. refrakciós indexe vagy törésmutatója), illetve a keverés fizikai paramétereit illetően (pl. keverési sebesség). A fény természetesen másképp szóródik egy gömb alakú szemcséről, mint a változatos felületű, természetes alakú szemcséről. Ezt a szóródást leíró optikai modell (Fraunhofer- vagy Mie-féle modell) megfelelő megválasztásával lehet pontosan figyelembe venni. A lebegtetett hordalék anyagának ismeretében a mért térfogatkoncentrációt (µl/l) automatikusan átszámítja tömegkoncentrációra (mg/l) is.

Az elemzés lépései: (1) Az anyagmodell, illetve a keverés fizikai paramétereit automatikus beállításokként elmenthetők, a műszer az elemzés során ennek megfelelően elemzi az elemzőszelencébe betöltött mintákat. (2) Az elemzés megkezdése előtt át kell öblíteni desztillált vízzel a LISST-Portable|XR elemzőszelencéjét. (3) A legelső minta elemzése előtt desztillált vízzel egy ún. üres mérést kell végezni, annak érdekében, hogy kiderüljön, a műszer megfelelően működik-e, nem túl piszkos-e az érzékelőfelület. (4) A desztillált víz leeresztését követően az elemzendő vízminta betölthető, ügyelve arra, hogy lehetőleg sem a homogenizálásnál, sem a betöltésnél ne keletkezzenek buborékok. (5) Ezután a mérés (a megadott beállításokkal) indítható. 2-3 perc alatt a műszer kiadja az eredményeket: hordaléktöménység (térfogat- és tömegkoncentrációban is), szemeloszlási görbe (térfogatszázalékban), karakterisztikus szemátmérők, valamint egyéb

statisztikai értékek (pl. egyenlőtlenségi mutató). (6) A hagyományos szemösszetételei elemzések eredményeivel összehangban célszerű térfogatszázalék helyett tömegszázalékban megadni a szemeloszlási görbe értékeit. Ez utófeldolgozás útján történik.

VELP TB1 kézi zavarosságmérő

A VELP TB1 kézi zavarosságmérő (4. ábra) laboratóriumban és terepen is egyaránt alkalmazható. Az eszköz belsejében található dióda 850 nm hullámhosszú infravörös fényt bocsát a 10 ml térfogatú vízmintába. A fény megtörik és szóródik a mintában lebegő szilárd részecskék felületén. A 90°-ban szóródó fényt egy detektor érzékeli, amely alapján a kalibrált műszer megadja a zavarosságra vonatkozó értéket (NTU, *Nephelometric Turbidity Unit*) mértékegységben. A zavarosságmérő mérési tartománya 0-1000 NTU, pontossága 0-500 NTU között $\pm 2\%$, 501-1000 NTU között $\pm 3\%$ (VELP 2019). Az elemzendő vízminta fecskendővel betölthető a boroszilikát üvegesébe, majd az üveg foltmentesre törlése után a jól felrázott minta gyorsan behelyezendő a készülékbe, s egy gombnyomással indítható a pár másodperces mérés. Az optikai módszerekben rejlő lehetőségeket és bizonytalanságokat vizsgálta például *Downing 2006*, *Czuba és társai 2015*, *Boss és társai 2018*.



4. ábra. A VELP TB1 kézi zavarosságmérő
Figure 4. The VELP TB1 portable turbidimeter

LISST-ABS

A LISST-ABS (5. ábra) egy pontbeli mérésre alkalmas in situ akusztikus szenzor. A műszer magas frekvenciájú (8 MHz) hanghullámot bocsát ki, s a hordalékszempcsék széles mérettartományon belüli érzékelésére alkalmas ugyanakkora megbízhatósággal (*Agrawal és társai 2016*). A műszerfej előtt 5,5 cm távolságban mintáz, ezáltal a vízben történő hangelnyelődéssel nem kell számolni. A műszerhez tartozó fedélzeti szoftver a visszavert jel alapján valós idejű, ún. *kalibrálatlan hordaléktöménységet* határoz meg. A tényleges hordaléktöménység

átszámítása kalibrálás útján tehető meg. A szemcsemérettől függően mérési tartománya 1 – 30 000 mg/l, korábbi tanulmányok alapján a 30-400 μm tartományban megbízhatóbban működik az OBS szenzoroknál vagy az ADCP műszereknél (*Agrawal és társai 2016*). Kezelése egyszerű, s hosszú idejű pontbeli vagy mozgóhajtós mérésre is alkalmas. Terepi mérésekre már többen is használták, alkalmazási lehetőségeit és korlátait tesztelve (pl. *Agrawal és társai 2016*; *Conevksi és társai 2016*; *Guerrero és Di Federico 2018*).



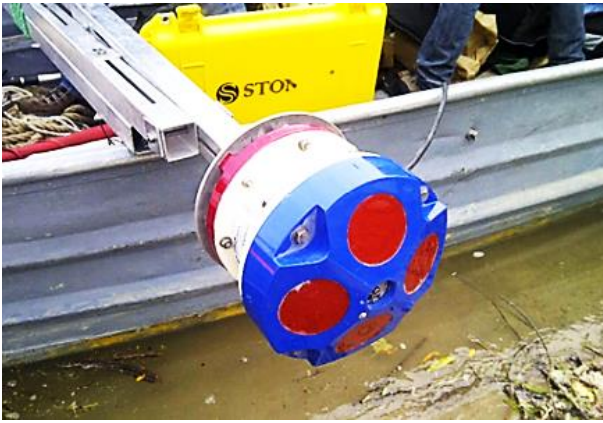
5. ábra. A LISST-ABS zavarosságmérő szonda rögzítve a US P-61-A1 izokinetikus mintavevőn
Figure 5. The LISST-ABS sensor adjusted to the US P-61-A1 isokinetic sampler

ADCP

Az áramlásmérés Rio Grande 1200 kHz típusú ADCP műszerrel (6. ábra) történt. A műszer a Doppler-elv alapján indirekt úton méri az áramlási sebességet. Ennek megfelelően, a mérőfejhez közeledő részecskékről visszaverődő jel frekvenciája megnő, ellenkező esetben pedig csökken. A frekvencia torzulása és a részecske sebessége között kapcsolat állapítható meg, aminek függvényében a részecske három vetületi sebességkomponense számítható. Az áramlási sebességek mellett a visszavert jelerősség profil is előállítható, amelyet a *szonár-egyenlet* (*Gartner 2004*) alapján kalibrálva a hordaléktöménység eloszlása (függély vagy szelvény menti) is előállítható. Mivel az ADCP műszert nem hordalékmérésre fejlesztették, vagyis a kalibrációs eljárás nem kézenfekvő, mint a fenti eszközöknél, érdemesnek tartjuk bemutatni azt az alapösszefüggést, amely a műszer a visszavert hangerősség és a lebegtetett hordalék töménysége közötti kapcsolatot fejezi ki:

$$SSC_{ADCP} = 10^{(A+B \cdot RB)} \quad (2)$$

ahol SSC_{ADCP} a kalibrált hordaléktöménység (mg/l), A és B konstansok, amelyeket a relatív visszavert jelerősség (RB) és a mért hordaléktöménység logaritmusára közt felállított lineáris regresszió együtthatói (*Gartner 2004*). Megjegyezzük, hogy RB nem a műszer által közvetlenül mért visszhang erősség, hanem egy bonyolult, számos paramétertől függő összefüggés eredménye, amelyet részletesebben pl. *Baranya és Józsa (2010)* tárgyal.

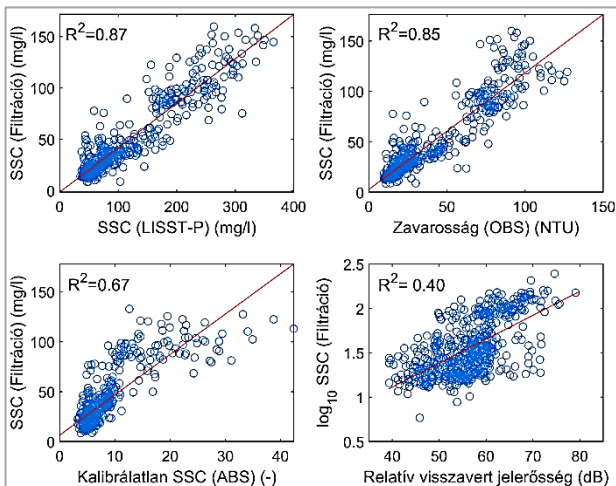


6. ábra. Rio Grande 1200 kHz típusú ADCP műszer
Figure 6. Rio Grande 1200 kHz ADCP

AZ ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉS EREDMÉNYEINEK ÉRTÉKELÉSE

A direkt és indirekt eljárások összehasonlításának elsődleges célja az idő- és eszközigényes hagyományos szűrőpapíros módszer kiváltására megfelelő alternatívák vizsgálata és kalibrálása volt. A filtrációs módszer alapján véve egy megbízható módszer, így a többi eljárás eredményeit viszonyítani lehet annak eredményeihez.

A 7. ábra egyes diagramjain a vízszintes tengelyen a LISST-Portable|XR, kézi zavarosságmérő ill. LISST-ABS műszerek esetében a műszer által alkalmazott mértékegységben kapott értékek, a függőleges tengelyen pedig a filtrációs módszerrel kapott hordaléktöménység értékek vannak felvéve. Az ADCP visszavert jelerősség kalibrálásához az ún. relatív visszavert jelerősség (RB) értékeket kell a mért hordaléktöménység logaritmusával összevetni. A kapcsolat felállítása minden esetben egyszerű, lineáris regresszióval (vagyis a legkisebb négyzetek elve alapján) történt.



7. ábra. Az indirekt módszerek kalibrálásához felállított összefüggések

Figure 7. Calibration curves of indirect methods

Az eredmények alapján belátható, hogy két okból kifolyólag van szükség kalibrációra: (1) az indirekt módszerekkel kapott értékek jellemzően nem (mg/l) mértékegységben értendők (ld. a kézi zavarosságmérő (NTU) zavarossági egységet határoz meg, a LISST-ABS pedig a kalibrálás elvégzéséig csak ún. kalibrálatlan hordaléktöménység értéket rögzít), (2) noha a LISST-Portable|XR

megadja a lebegtetett hordalék tömegkoncentrációját, a műszer működési elvéből kifolyólag az eltér (felülbecsli) a hagyományos eljárás eredményeként kapott értékektől.

Kalibráció

A mérések kezdete óta széles vízhozam- illetve hordaléktöménység-tartomány lefedésére volt lehetőség. A több-száz minta elemzése alapján az alkalmazott direkt és indirekt lebegtetett hordalékmérési módszerek minősíthetővé váltak. Az indirekt módszerek kalibrálásához jellemzően erős kapcsolatokat lehet felállítani.

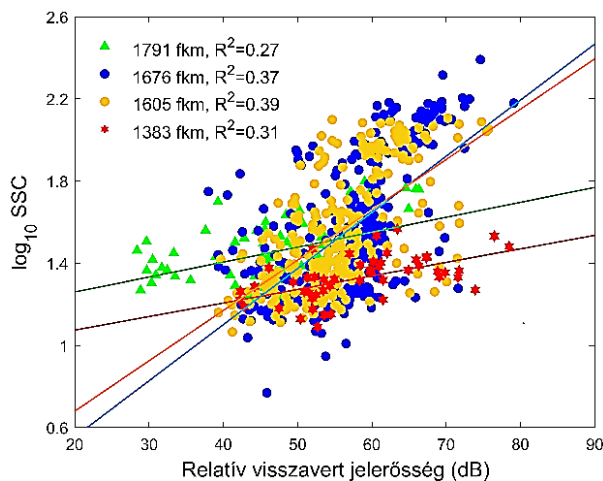
Látható, hogy a kapcsolatok a középvízi tartományban mondhatók a legerősebbnek, majd a nagyobb vízhozamok esetén növekszik a szórás. A magyarázat keresésekor a szokásos megközelítésen túl – vagyis, hogy az értékeket érdemes tartományokra osztani (jellemzően a vízhozam vagy a hordaléktöménység alapján), s azokra külön kapcsolatokat felállítani – érdemes megvizsgálni, esetlegesen milyen korlátozás rejlik az egyes módszerekben.

A hagyományos módszerek szinte minden lépésükben manuális beavatkozást igényelnek, amelyek során az emberi hibázás lehetősége halmozódhat. Hibázási lehetőségre példák: tömegállandóságig szárított szűrőpapír tömegét $\pm 0,1$ mg pontossággal kell lemérni, légmentesen kell tárolni, a minta térfogatát ml pontossággal, „szemre” kell lemérni, a vízminta áttöltésekor ügyelni kell arra, hogy mindig megfelelően homogenizálva legyen stb.

Az akusztikus ill. optikai módszerek egyaránt érzékenyek a szemcseméretre. Az optikai módszerek közül a LISST-Portable|XR esetén ugyan be lehet állítani, milyen optikai modell alapján, s milyen hordalékanyagot feltételezve határozza meg a hordaléktöménységet a műszer, de a lebegtetett hordalék ásványos összetétele ritkán homogén. Egyelőre kevés tanulmány született a LISST-Portable|XR beállításainak vizsgálatáról. Egy, a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéken készített diplomamunka eredményei alapján bemutatásra került, hogy a Duna esetében az eszköz nem érzékeny az ásványos összetételre (Éles 2019). Ennek magyarázatához hozzátartozik, hogy a Duna ásványos összetételében a négy fő alkotó ásvány közel azonos arányban fordul elő, s ezek sűrűsége, illetve törésmutatója nem különbözik számottevően. A VELD TB1 kézi zavarosságmérő esetében felmerül a reprezentativitás kérdése, ugyanis a minta elemzésére használt üvegese térfogata 10 ml. A keverés nélküli környezetben a durva/finom frakció közti megkülönböztetés hiánya mindenképp jelentős hibaforrás. A LISST-ABS esetében már az eszközre vonatkozó gyári ajánlás (Sequoia Inc. 2017) alapján is abban a szemcseméret-tartományban bizonytalanok a műszer eredményei, amelybe a Duna jellemző szemátmérője (20 μm) is tartozik. A minél pontosabb kalibráció érdekében tehát érdemes lesz a jövőben megvizsgálni a szemcseméret, szemösszetétel hatásait is.

Az ADCP műszer kalibrálásakor a *szonár-egyenlet* (Garner 2004) figyelembe tudja venni a szemcseméretet a hordalékszemszén való szóródás és elnyelődés leírására szolgáló paraméter meghatározásában. Az eddigi dunai méréseink alapján megvizsgáltuk, hogyan befolyásolja a számított hordaléktöménységet, ha nem ismert pontosan

minden szemcse mérete, hanem az csak az átlagos szemnagysággal van közelítve. A vizsgálat eredményeként azt kaptuk, hogy az ADCP visszavert jelerősség alapján származtatott hordaléktöménységet ez nem befolyásolja jelentősen. Amit azonban bemutatásra is érdemesnek találtunk, az annak vizsgálata, hogy a felállított kalibrációs összefüggés a visszavert jelerősség és a mért hordaléktöménység között általánosan érvényes-e a Duna egyéb szakaszain is. Külön is kalibrálva a visszavert jelerősséget a két mintaterületen, látható (8. ábra), hogy a kalibrációs paraméterek közel esnek egymáshoz. Azonban a Dunán egy távolabb eső, más szakaszjelleggel bíró monitoring állomás szelvényéhez képest már nagyobb az eltérés (ezt a 8. ábrán két további dunai szelvényben, a közelmúltban végzett mérések eredményeivel illusztráljuk), sőt akár az is előfordulhat, hogy minden mérési sorozatra külön el kell végezni a kalibrációt. A kalibráció az ADCP esetében is pontosabbá tehető, ha az például a vízhozam alapján meghatározott tartományokra külön történik.



8. ábra. Az ADCP visszavert jelerősség kalibrálása a Duna négy, egymástól távol fekvő szelvényében: Gönyű (1791 fkm), Sződliget (1677-1674 fkm), Ráckeve (1606.5-1604 fkm) és Almás (1383 fkm)

Figure 8. Calibration of ADCP backscatter in four cross sections of the Danube: Gönyű (1791 rkm), Sződliget (1677-1674 rkm), Ráckeve (1606.5-1604 rkm) és Almás (1383 rkm)

Az egyes eljárások alkalmazhatósága, előnyei és hátrányai

A különféle direkt és indirekt módszerek tesztelése során azok gyakorlati alkalmazhatóságai, előnyei és/vagy hátrányai is értékelhetők lettek.

A hagyományos filtrációs módszer diszkrét eredményeit tekintve ugyan referenciának tekinthető (a többi módszer kalibrálása rendszerint ez alapján történik), azonban maga az eljárás rendkívül körülményes, idő- (a szűrőpapírokat kétszer is több órán keresztül tömegállandóságig kell szárítani) és eszközigényes (a műszeren kívül gondoskodni kell a szűrőpapírokról, a kompresszorról, illetve magáról a szárítószekrényről is). Nem automatizálható, a laboratóriumi elemzést végző személynek a módszer minden lépésénél van teendője, amely a hibalehetőségek számát is gyarapítja. Előnye, hogy egyszerűen számítható a hordaléktöménység, nem igényel kalibrációt, sem utófeldolgozást. A nagy hordaléktöménységre azonban érzékeny, jellemzően a 100 mg/l nagyságrendben már csak kis

térfigatú minta szűrhető át, ami rontja a megbízhatóságot, az eredmény reprezentativitását.

A LISST-Portable|XR egy alapvetően könnyen használható műszer, ha az elemzést végző személy kellő körültekintéssel végzi a munkáját. Az optikai modell és a fizikai beállítások megfelelő megválasztásával a megfelelően homogenizált vízminta buborékmentes betöltése után 3-5 perc alatt lezajlik az automatizált elemzés. Nagy előnye, hogy a szemeloszlásról is információt szolgáltat. Elméletileg terepi használatra is alkalmas lenne, azonban a tapasztalatok alapján a hőmérsékleti viszonyokra (egész pontosan a szelence és az elemzendő vízminta hőmérséklete közti különbségre) rendkívül érzékeny. Hideg vízmintában a hordalékszemcsék jellemzően összetapadnak és flocokkat, pelyheket képeznek, amiket a műszer nagyobb szemcsék formájában érzékel, s ún. platós szemösszetételi görbét eredményez. Ennek elkerülése végett, illetve a hőmérséklet-különbség kiegyenlítődése érdekében érdemes a laboratóriumban megvárni, míg szobahőmérsékletre melegednek a vízminták – ez azonban sokáig tarthat. A jellemző szemcseméret függvényében a vizsgálható hordaléktöménység-tartomány is változik. Alacsony (néhány 10 mg/l-nél kevesebb) illetve magas (több, mint 300-500 mg/l) töménység esetén az eredmények megbízhatósága jelentősen csökken. Míg az első esetben nincs mit tenni, addig az utóbbi esetben hígítással javíthatunk az elemzés körülményein. A bemutatott esettanulmány, illetve egyéb, annak eredményeit szintén igazoló mérések alapján (pl. Rai és Kumar 2017, Csiti 2017) elmondható, hogy az előzetes elvárásokkal ellentétben ez az eljárás is kalibrációt igényel.

A kézi zavarosságmérő eszköz kompakt mivolta miatt kedvelt terepi mérésre is alkalmas eszköz. Kezelése könnyű, az elemzés gyors (kb. 1 perc). Kis vízminta is elegendő a méréshez, azonban kérdéses az eredmények reprezentativitása. A bizonytalanságot tovább növeli, hogy az üvegszelencének tökéletesen foltmentesnek kell lennie, s hogy a minta színe is hatással lehet az eredményekre (pl. a szerves anyagot jelentős mennyiségben tartalmazó vízfolyásokban). Az optikai zavarosságot leíró (NTU) értéket minden esetben kalibrálni szükséges.

A hagyományos módszer kiváltására az egyik leginkább alkalmasnak tűnő eszköz a terepen is in-situ bevethető LISST-ABS. Ehhez az indirekt eljáráshoz nincs szükség fizikai mintavételre (ezáltal laboratóriumi elemzésre sem), előzetes kalibrálás után pontbeli, ám pillanat-szerű hordaléktöménység értékeket szolgáltat. Ezáltal az automatizált műszer kvázi folytonos függély- és szelvény menti profilozásra is alkalmas. Kezelése könnyű, s csak minimális utófeldolgozást igényel (eredmények megjelenítése, értékek esetleges szűrése stb.). A szemcseméretre azonban érzékenynek bizonyul, így körültekintő kalibrálás szükséges.

Az ADCP visszavert jelerősség kalibrációja rendkívül hasznos, hiszen a műszer alkalmazása vízhozam- és áramlásméréseknél mindennapos, így a többletinformációk kinyerése kézenfekvő feladat a lebegtetett hordalékvándorlás monitoringjában. A kalibráció elméleti háttere megalapozott - maga a kalibráció összetett, ugyanakkor könnyen

elvégezhető. Az időigénye ebből kifolyólag nagyobb, mint a többi eljárásé, azonban az eredményeként kapható szelvény menti hordaléktöménység-eloszlás információirtalma kétségtelenül a legmagasabb. Ezzel az eljárással akár komplex jelenségek (pl. elkeveredés két folyó találkozásánál) is vizsgálhatóvá válnak, vagy a mezőszerű megjelenítéssel például egyértelműen tetten érhető a mederanyagból történő felkeveredés. Ahogy arról az előzőekben már szó volt, a kalibrálás ennél az eljárásnál jelentős mértékben függhet a lokális viszonyoktól, hordalékjellemzőktől. Így például felmerül a kérdés, hogy két – a lebegtetett hordalék minőségét (pl. ásványos összetétel vagy a szerves hordalék mennyisége) illetően jelentősen különböző – folyó találkozásakor (pl. Duna és Mosoni-Duna) a torkolat alatti szakaszon hogyan vehető figyelembe az inhomogén hordalék.

Szemösszetételi vizsgálatok

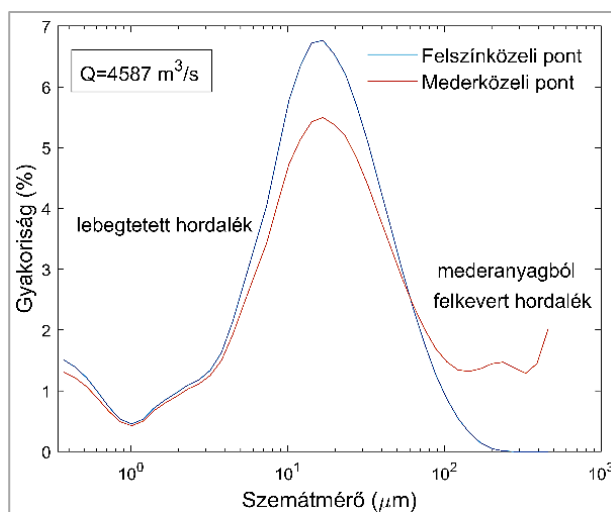
A hordalékjárás vizsgálatánál a szemösszetételi adatokból is jól hasznosítható következtetések vonhatók le, továbbá a korábbiakban leírtak szerint az indirekt módszerek egy része érzékenyebb bizonyult a szemösszetételre, ezért fontosnak tartottuk ennek vizsgálatát. Míg a LISST-Portable|XR beállításai közt (optikai modell, jellemző ásvány kiválasztása), illetve az ADCP visszavert jelerősség kalibrálásakor a *szonár-egyenlet* paramétereiben figyelembe vehető a lebegtetett hordalék szemösszetétele, addig a LISST-ABS és a VELP TB1 kézi zavarosságmérő esetén nincs erre lehetőség.

A vizsgált direkt és indirekt eljárások közül egyedül a LISST-Portable|XR alkalmas szemösszetételi vizsgálatra is. Ez nagyon kedvező előny, ugyanis csak jóval körülményesebb, idő- és költségigényes alternatívák állnak a rendelkezésre, de ezekre jelen cikk nem terjed ki. A lézerdiffrakciós eszköz segítségével a lebegtetett hordalék jellemző szemcseméret-tartomány feltárható és a szemösszetételi információk térbeli és időbeli változékonysága is vizsgálhatóvá válik, a rendelkezésre álló vízminták függvényében. Mintaként (9. ábra) bemutatunk két szemcseméret-sűrűségfüggvényt a ráckevei mintaterületről, amelyeket nagyvízi állapot mellett vettünk és annak ellenére, hogy a két minta ugyanabból a függélyből és időpontból származik, az átlaghoz képest jelentős eltérés figyelhető meg a vízfelszín és mederfenék közeli minták összetételében. Szemben a vízfelszín közeli mintával, a mederfenéknél megjelennek a 0,20-0,50 mm közötti frakciók is, amely a mederfenékből felkevert hordalékot jelzi. Ehhez hasonló értékelésekkel, becslés tehető a szállított hordalék forrására, ami pl. folyók találkozásánál még inkább felértékelődhet.

HORDALÉKHOZAM SZÁMÍTÁSA A MÉRT HORDALÉKTÖMÉNYSÉG ADATOK ALAPJÁN

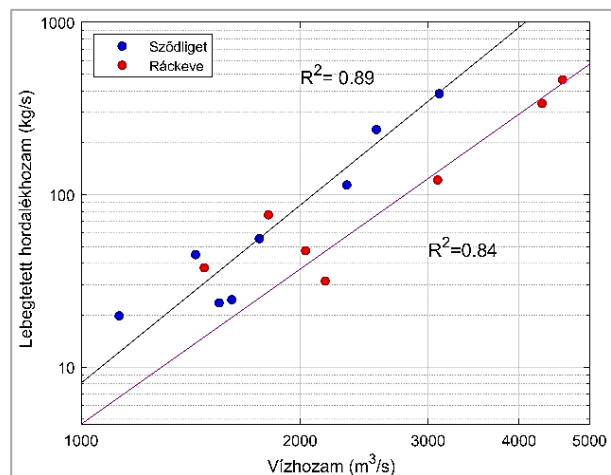
A hivatkozott projektben a hordalékjárás parti szűrésű vízbázisra kifejtett hatásának egyik lehetséges elemzését a mindenkor hordalékhozammal kapcsolhatjuk össze (megjegyzés: a multidiszciplináris kutatásban részt véve mi csak a folyami hordalékvándorlás mennyiségi vizsgálatát végeztük, vízminőségi hatásokat nem vizsgáltunk). Mivel a jelen tanulmányhoz kapcsolódó első cikkben a hordalékmonitoring rendszer fejlesztésére tettünk javasla-

tot, fontosnak tartottuk, hogy mérési adatokkal is bemutassuk az expedíciós mérések eredményeképpen meghatározható lebegtetett hordalékhozamot. A hordalékhozam meghatározását az *integrál-módszer* (BMFLUW 2017) alapján végeztük, mely során az összetartozó pontbeli áramlási sebesség és hordaléktöménység értékek szorzatának a teljes szelvényre vett integrálásával számítható a hordalékhozam (kg/s). A referenciának vett és bemutatott hordalékhozam értékeket a filtrációs módszerből származó hordaléktöménység értékek alapján számítottuk. A 10. ábrán látható, hogy a Duna vizsgált szakaszain (Sződliget és Ráckeve térségében) elfogadható erősségű hatványkapcsolat állítható fel a vízhozam és a szelvény menti hordalékhozam között, s hogy a két szakaszt külön vizsgálva kis eltérés tapasztalható a kapcsolatot illetően.



9. ábra. Vízfelszínközeli és mederfenék közeli pontból, nagyvízes időszakban vett minták szemösszetételének vizsgálata a ráckevei szakasz alsó szelvényében (Duna 1604 fkm)

Figure 9. Investigation of PSD of near-surface and near-bottom sediment in the southern cross section near Ráckeve (Danube 1604 rkm) during high water regime



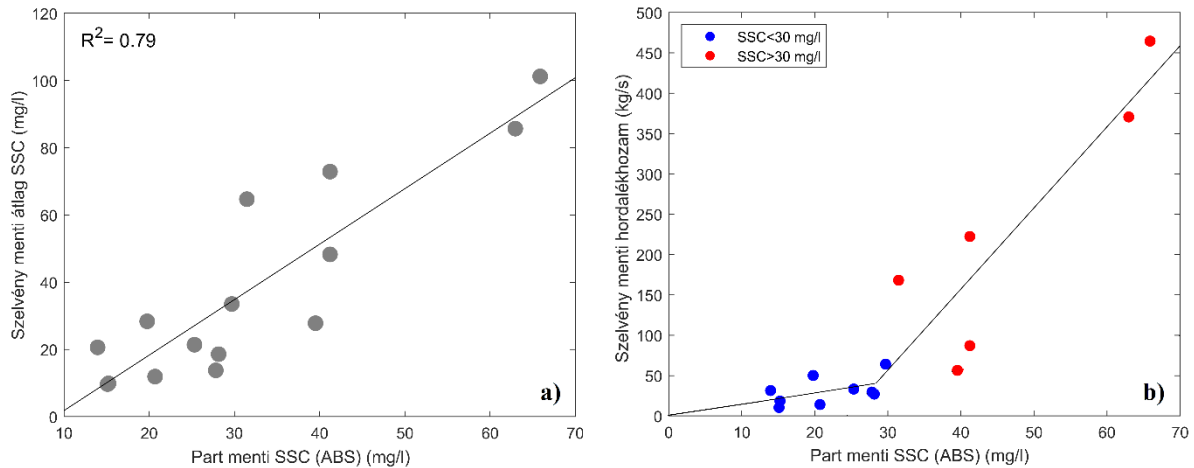
10. ábra. A vízhozam és a lebegtetett hordalékhozam közti kapcsolat sződligeti és ráckevei mintaterületen

Figure 10. Relationship between water discharge and suspended sediment load at the case study areas

A lebegtetett hordalékmonitoring javasolt fejlesztésének tekintetében azonban még lényegesebb, hogy vizsgálhatóvá vált az előzmény cikkben bemutatásra került part

menti és szelvényátlagolt hordaléktöménység közötti kapcsolat is, ami kulcsjelentőségű a folyamatos hordalékhozam meghatározáshoz. Jelen vizsgálathoz a part közeli akusztikus (LISST-ABS) mérési adatokat használtuk fel a kapcsolat felállítására úgy, hogy a mozgóhajós LISST-ABS mérések kalibrált értékeiből kiválasztásra kerültek a part közeli értékek. A ráckevei szakasz alsó (1604 fkm) szelvényének jobb parti értékeit a szelvényben mért átlag hordaléktöménységgel összekapcsolva a 11. ábrán bemu-

tattott kapcsolatot kaptuk. Sőt, az is látható, hogy a szelvény menti hordalékhozammal összekapcsolva a parti értékeket, több kapcsolatot lenne érdemes felállítani a hordaléktöménység (közvetve a vízhozam) alapján. Ez összhangban áll *Haimann és társai (2014)* állításával, miszerint a vízhozam változásának hatására változik az ún. szelvény menti korrekciós tényező is, amely alapján a part menti hordaléktöménység érték kiterjeszthető a teljes szelvényre.



11. ábra. Kalibrált part menti zavarosságmérő által mért hordaléktöménység értékek kiterjesztése a teljes szelvényre.

Kapcsolat a) a szelvény menti átlagos hordaléktöménységgel és b) a teljes szelvény menti lebegtetett hordalékhozammal
 Figure 11. Extending the concentration data of the calibrated near-bank backscatter sensor to the total cross section. Relationship between the near-bank concentration and a) the mean cross-sectional concentration and b) the total cross-sectional suspended sediment load

ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

Jelen cikk a második része egy, a folyók lebegtetett hordalékmonitoring módszertani fejlesztéséhez kapcsolódó tanulmány. A cikkben bemutatjuk azokat a korszerű hordalékelemzési eljárásokat, amelyek folyóink hordalékjárásának pontosabb megismerését szolgálhatják. Összehasonlító elemzést végeztünk különböző hordaléktöménység mérési módszerekre, amelyben szerepet kaptak fizikai úton vett vízminták szűrőpapír alapú laboratóriumi elemzése, infravörös és lézerdiffrakciós optikai eljárások és akusztikus módszerek is. Az értékelést nagyszámú, mintegy 500 mintán keresztül végeztük el, amelyek a Duna Sződliget és Ráckeve környéki szakaszáról származtak eltérő vízjárású állapotokból, a mérési kereszt-szelvények különböző pontjaiból. A fizikai laborelemzési módszert referenciaként tekintve állítottunk fel kapcsolatot a különböző eljárások által szolgáltatott hordaléktöménység adatok között, majd értékeltük a kapcsolatok erősségét. Tapasztalataink alapján bemutatjuk az egyes mérési eljárások előnyeit és hátrányait, ami alapján azok alkalmazhatósága is jellemzésre került.

A hordaléktöménység meghatározáshoz kapcsolódó összehasonlító elemzés alapján levonható legfontosabb következtetések az alábbiak:

- A szűrőpapíros hordaléktöménység meghatározás idő- és költségigényes, de tekintettel annak fizikai tartalmára, szükségesnek tartjuk referenciaként való használatát.

- A lézerdiffrakciós eljárás megalapozott (kellően nagyszámú minta és lefedett hordaléktöménység tartomány mellett) kalibrálás után alkalmas a hordaléktöménység meghatározására, de kalibrálás általánosíthatósága (pl. a kalibrálási mintaterülethez képest más folyókra való alkalmazhatóság) a jövőben vizsgálandó.
- A lézerdiffrakciós eljárás másik nagy előnye, hogy a szemösszetételről is szolgáltat információt, a hátránya viszont az eszköz magas költsége.
- Az infravörös elven működő zavarosságmérés elméletileg érzékeny a hordalék szemcseméretének megváltozására (és további fizikai paraméterekre, mint pl. a víz színe, szervesanyag tartalma stb.), de vizsgálatainknál ez a jelenség nem volt megfigyelhető, erős kapcsolatot találtunk a zavarosság és hordaléktöménység között.
- Az akusztikus eljárások esetén szintén szerepet játszik a szemcseméret megváltozása, sőt további fizikai jellemzők, mint pl. a hangfrekvencia, a víz hőmérséklete szintén megjelennek az ún. *szonár-egyenetben*. Tapasztalataink szerint az eljárás alkalmazhatóságát, különös tekintettel az ADCP esetén, helyspecifikus kalibrációval szükséges megalapozni.

Bemutatjuk, hogy a lézerdiffrakciós eljárás a hagyományos módszerekhez képest jelentősen egyszerűbben tud számszerű információt szolgáltatni a finom hordalék

szemösszetételéről, ami jól hasznosítható a vándorló hordalék forrásának meghatározásához, de segítheti pl. a hordaléklerakódási folyamatok megértését és elkeveredési vizsgálatokhoz is jó eszközként használható.

Kitértünk arra is, hogy a tanulmányunkhoz kapcsolódó első cikkben ismertetett hordalékmonitoring rendszer kialakításához és kalibrálásához szükséges part menti és szelvény-átlagolt hordaléktöménység kapcsolatok a vizsgált mintaterületen hogyan állíthatók fel és miként kapcsolható össze a part mentén rögzített hordaléktöménység a szelvényen átáramló hordalékhozammal.

Vizsgálataink olyan eredményeket tartalmaznak, ami a hordalékvizsgálatokkal foglalkozó gyakorló mérnökök munkáját nagyban megsegíthetik, mert a módszertani alapokon túl, konkrét, nagyszámú mérési adatra alapozva mutattuk be a teljesen eltérő mérési elven működő eljárások eredményeit. Az elemzéseinkből levonható következtetések megkönnyíthetik az adott mérnöki feladatokhoz megfelelő mérési módszer kiválasztását, jóllehet vizsgálatainkkal azt is igyekeztünk illusztrálni, hogy mindegyik eljárásnak megvan a maga előnye és hátránya. Az eredmények a hordalékmozgás kutatásával foglalkozó szakemberek vizsgálataihoz is hozzájárulnak azzal, hogy számos eddig nyitott kérdést megválaszolnak a hordalékelemző műszerek operatív használatával kapcsolatban és az eredmények alapján további vizsgálati területek is kijelölhetők, pl. az ADCP kalibrálásmentes hordalékmérési alkalmazására, amire vannak már törekvések. A cikkben bemutatott mérési eljárások alkalmazásával, a hordalékmozgás térbeli és időbeli változékonyságának pontosabb feltárásával, a különböző léptékű szimulációs eszközök paraméterezése és igazolása is a korábbiakhoz képest pontosabban végrehajtható lesz, amivel pedig mérnöki tervezési feladatok támogatását tudjuk megtenni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben bemutatott kutatás kapcsolódik a SEDDON II elnevezésű Ausztria-Magyarország határon átnyúló együttműködési programban megvalósított projekthez és a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) által támogatott 2018-1.2.1-NKP-2018-00011 számú, „Tiszta ivóvíz: a biztonságos ellátás multidiszciplináris értékelése a forrástól a fogyasztóig” projekthez. A második szerző köszönetét fejezi ki az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-4 Kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásáért és az MTA Bolyai János ösztöndíjért. A tanulmány kapcsolódik továbbá az NKFIH támogatásával megvalósuló FK128429 számú kutatási projekthez és az Emberi Erőforrások Minisztériuma által támogatott FIKP-VÍZ Programhoz.

IRODALOMJEGYZÉK

Agrawal, Y.C., Slade, W., Pottsmith, H.C., Dana, D. (2016). Technologies and experience with monitoring sediments for protecting turbines from abrasion. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 49 122005.

Agrawal, Y.C., Hanes, D.M. (2015). The implications of laser-diffraction measurements of sediment size distributions in a river to the potential use of acoustic backscatter for sediment measurements. *Water Resour. Res.*, 51, 8854-8867.

Agrawal, Y.C., Whitmore, A., Mikkelsen, O.A., Pottsmith, H.C. (2008). Light scattering by random shaped particles and consequences on measuring suspended sediments by laser diffraction. *J. Geophys. Res.*, 113.

Baranya S., Csiti B., Fleit G., Kutai R.D., Lükő G., Rütther, N., Szabó-Mészáros M., Timár G., Tóth T., Török G.T. (2017). *Hidromorfológiai mérések. Folyami hidromorfológiai mérőgyakorlat vízmérnök és geofizikus MSc hallgatók számára.* Egyetemi jegyzet, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Baranya S., Józsa J. (2010) ADCP alkalmazása lebegtetett hordalék-koncentráció becslésére. *Hidrológiai Közlöny* 90. évf. 3. szám, pp. 17-22.

BMFLUW (2017). *Schwebstoffe im Fließgewässer – Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransports.* Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2. Auflage, Vienna, Austria.

Boss, E., Sherwood, C.R., Hill, P., Milligan, T. (2018). Advantages and Limitations to the Use of Optical Measurements to Study Sediment Properties. *Appl. Sci.*, 8(12), 2692.

Conevski, S., Guerrero, M., Rütther, N., Baranya, S. (2016). Testing the LISST-ABS capabilities and verifying its usage for measuring suspended sediment concentration in large rivers. In Proceedings of the Particle in Europe (PiE) Conference, Budapest, Hungary, 3-5 Nov. 2016.

Csiti B. (2017). *A Duna múltbeli lebegtetett hordalékadatainak módszertani elemzése.* BSc diplomamunka, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Czuba, J.A., Straub, T.D., Curran, C.A., Landers, M.N., Domanski, M.M. (2015). Comparison of fluvial suspended-sediment concentrations and particle-size distributions measured with in-stream laser diffraction and in physical samples. *Water Resour. Res.*, 51, 320–340.

Downing, J. (2006). Twenty-five years with OBS sensors: The good, the bad, and the ugly. *Cont. Shelf Res.*, 26, 2299–2318.

Éles D. (2019). *Lebegtetett hordalékmérési eljárások összehasonlító elemzése.* BSc diplomamunka, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Gartner, J.W. (2004). Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California. *Mar. Geol.*, 211(3-4)169-187.

Gray, J.R., Gartner, J.W. (2009). Technological advances in suspended-sediment surrogate monitoring. *Water Resour. Res.*, 45(4).

Guerrero, M., Di Federico, V. (2018). Suspended sediment assessment by combining sound attenuation and backscatter measurements—analytical method and experimental validation. *Adv. Water Resour.*, 113, 167–179.

Guerrero, M., Rütther, N., Szupiany, R., Haun, S., Baranya, S., Latosinski, F. (2016). The acoustic properties of suspended sediment in large rivers: consequences on ADCP methods applicability. *Water*, 8, 13.

Guerrero, M., Rüther, N., Szupiany, R.N. (2012). Laboratory validation of acoustic Doppler current profiler (ADCP) techniques for suspended sediment investigations. *Flow Meas. Instrum.*, 23, 40–48.

Guerrero, M., Szupiany, R.N., Amsler, M.L. (2011). Comparison of acoustic backscattering techniques for suspended sediments investigations. *Flow Meas. Instrum.*, 22, 392–401.

Haimann, M., Liedermann, M., Lalk, P., Habersack, H. (2014). An integrated suspended sediment transport monitoring and analysis concept. *Int. J. Sed. Res.*, 29, 135-148.

Le, H.A., Gratiot, N., Santini, W., Ribolzi, O., Soares-Fraza, S., Deleersnijder, E. (2018). Sediment properties in the fluvial and estuarine environments of the Mekong River. *E3S Web Conf.*, 40, 05063.

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

Rai, A. K., Kumar, A. (2017). Sediment monitoring for hydroabrasive erosion: A field study from Himalayas, India. *Int. J. Fluid Machinery and Systems*, 10(2), 146-153.

Rai, A. K., Kumar, A. (2019) Determination of the particle load based on detailed suspended sediment measurements at a hydropower plant. *Int. J. Sed. Res.*, 34(5), 409-421.

Sassi, M.G., Hoitink, A.J.F., Vermeulen, B. (2012). Impact of sound attenuation by suspended sediment on ADCP backscatter calibrations. *Water Resour. Res.*, 48, 1-14.

Sequoia Inc. (2017). LISST-ABS Acoustic Backscatter Sensor User's Manual Version 1.4.

Sequoia Inc. (2018). LISST-Portable|XR Manual Version 1.3.

Thorne, P.D., Vincent, C.E., Hardcastle, P.J., Rehman, S., Pearson, N. (1991). Measuring suspended sediment concentrations using acoustic backscatter devices. *Mar. Geol.*, 98, 7-16.

VELP (2019). VELP TB1 Portable Turbidimeter Manual.

A SZERZŐK



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



BARANYA SÁNDOR Építőmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte 2003-ban, PhD fokozatát ugyanitt 2010-ben. Jelenleg a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének egyetemi docense. Kutatási területe folyók medermorfológiai, áramlástan és hordalékvándorlási vizsgálata terpi eljárásokkal és számítógépes modellezéssel. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2003 óta tagja.

Képalapú módszerek fejlesztése folyók morfológiai vizsgálatához

Ermilov Alexander Anatol¹, Baranya Sándor¹, Fleit Gábor¹, Török Gergely T.²

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (E-mail: ermilov.alexander@epito.bme.hu, baranya.sandor@epito.bme.hu, fleit.gabor@epito.bme.hu)

²MTA Vízgazdálkodási Kutatócsoport, Eötvös Loránd Kutatói Hálózat, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (E-mail: torok.gergely@epito.bme.hu)

Kivonat

A számítástechnika rohamos fejlődésével, napjainkban egyre elterjedtebbek az ún. gépi látásra épülő, képfeldolgozó algoritmusok a mérnöki területeken. Ezen módszerek automatizálásával, korábban idő- és energiaigényes munkákat lehetséges kiváltani úgy, hogy azok a korábbinál részletesebb információhoz juttatják a felhasználót. Ebben a cikkben a Duna egy-egy szakaszának morfológiai vizsgálatához, képalapú módszerekkel végzett terepi tesztmérési eredményeit ismertetjük és értékeljük, további fejlesztési irányok kijelölésével. A kutatás kiváltó oka az volt, hogy a hagyományosnak tekinthető terepi morfológiai vizsgálati módszerek sokszor nem tekinthetők reprezentatívnak. Egyfelől, a mederanyag mintavételi eljárások legtöbbször pontszerű információt szolgáltatnak, másrészt pedig maga a mintavételezési eljárás is sokszor nehezen kivitelezhető. Ez a jelenség a folyók átmeneti szakaszán (ahol a kavics meder a finomabb homok mederbe vált át, jelentős eltéréseket eredményezve az egymástól nem messze lévő pontok szemösszetétele között) leginkább szembetűnő. Hasonlóképpen beszélhetünk a görgetett hordalék mintavételezési eljárások nehézségeiről is. A cikkünkben bemutatott eredmények arról tanúskodnak, hogy a jelenlegi képfeldolgozó algoritmusok alkalmasak lehetnek mederanyag szemösszetétel és görgetett hordalékhozam meghatározására, valamint a mederdomborzat térképezésre. Az alkalmazott módszerek korlátjai és a terepi alkalmazás során adódható nehézségek is tárgyalásra kerülnek. A vizsgálatok során az elméleti és felbontásbeli korlátokból kifolyólag a durva homoknál finomabb frakciókat nem érzékelték a használt módszerek, annál finomabb léptéket nem sikerült elérni. Könnyen belátható viszont, hogy az említett korlátok kiterjeszthetők további fejlesztésekkel, így valós alternatívaként jelentkezhetnek a folyókban végbemenő hordalékvándorlási és mederalakváltozási folyamatok vizsgálatára.

Kulcsszavak

Mederanyag, szemeloszlás, görgetett hordalék, hordalékhozam, képalapú, képfeldolgozás, terepi mérés technológia, mintavétel, SfM módszer, gépi látás, morfológia.

Developing image-based methods for analysing morphodynamics in large rivers

Abstract

Nowadays, as computer science is rapidly developing, algorithms based on computer vision and image processing are getting more and more widespread in engineering works as well. By automatizing these methods, tasks that used to be time- and energy consuming can be carried out much faster and easier, while occasionally providing even more detailed results and information for the user, than before. In this article, we present and evaluate the results and findings from our field measurements, where image-based methods were applied for the morphodynamic assessment for shorter sections of the Danube River, and highlight further development goals. These measurements were done knowing that the conventional river morphodynamic measurement methods are often not representative. For instance, bed material sampling methods are usually providing point-like information and, moreover, the implementation of the samplings are often difficult. This can be the most problematic in the transition zones of rivers (where the gravel bed changes into sand bed, resulting in mixed composition and high deviations in grain size in points not far from each other). Furthermore, conventional bedload sampling methods suffer from the same difficulties. The results presented here show that the available image processing algorithms can be applied and adapted for calculating bed material grain size distributions and bed load, or for mapping river bed topography. The limits and difficulties of field-use are also discussed. Due to the theoretical and resolution limits the fractions finer than coarse sand were neglected and left out by the methods. However, it could be easily seen that the mentioned limitations can be further expanded after some improvements, providing a realistic future alternative for the analysis of fluvial sediment transport and morphodynamic processes.

Keywords

Bed material, grain size distribution, bedload, sediment yield, image-based, image processing, field measurement methodology, sampling, structure-from-motion, computer vision, morphodynamics.

BEVEZETÉS

A folyók áramlási viszonyai és a mederfelszín között folyamatos kölcsönhatás áll fent. Míg előbbi a hordalékszálító képessége miatt hol építeni, hol rombolni igyekszik a medret (morfológia), addig az utóbbi hidraulikai ellenállást fejt ki és befolyásolja az áramlást. Ezen oda- és visszahatás több paraméteren keresztül is jelentkezik, s gyakorlati jelentősége igen nagy. Így például a hajózás, illetve vízépítési beavatkozások szempontjából a mederváltozás kérdése mérvadó. Vízenenergia termelés esetén, a tározási

tér alakulására a hordaléktranszporton keresztül nyerhetünk választ (*Morris és Fan 1998, Shen 1999, White 2001, Kondolf és társai 2014, Healey és társai 2015*), míg árvízi kockázatkezelésnél a mederalak is meghatározó tényező az árhullám levonulását tekintve (*Davies és McSaveney 2011, Takemura és Fukuoka 2013, FEMA - Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping 2016*). Partiszűrészű ivóvízbázisoknál pl. a porozitás, rétegződés, áteresztőképesség, mederpáncélozódás, szemcseméretetek mind a terhelést befolyásoló jellemzők (*Kovács 1972, Rákóczi 1979,*

Rice és Church 1998). Természetesen nemcsak az ember szempontjából fontos mindez, hanem a vízi élőhelyek és élőlények részéről is. A szemösszetétel, kitettség, inhomogenitás, mederformák és porozitás a fenéklakó gerinctelenek és a halfajok számára egyaránt meghatározó (Sear és társai 2008, Buendia és társai 2013, Descloux és társai 2013). A fentiek miatt tehát igen fontos kérdés, hogy milyen paramétereket, hogyan és hol mérjünk.

A folyók mederanyagának vizsgálatáról elmondható, hogy a fentiek ellenére a hagyományos mintavételi eljárások sok esetben időigényesek és költségesek. Továbbá nem is mindig biztosítanak megfelelő minőségű és mennyiségű információt, például átmeneti jellegű folyószakaszokon, ahol a mederanyag vegyes szemösszetételű (pl. a Duna magyarországi felsőszakasza), időben és térben erős változékonyságot mutat. Ilyen esetben, a bevett hordalék mintavételi eljárásokból nyerhető helyi, pontbeli adatok nem kielégítőek minden esetben, továbbá a reprezentatív minta kérdése is felvetődhet. Érdemes lehet tehát területi információt nyújtó eljárások fejlesztésére törekedni, melyek átfogó képnük miatt újfajta összefüggéseket világíthatnának meg. Hasonlóképpen, a görgetett hordalékvándorlás terepi mérése sem kiforrott, jóllehet hazánkban a görgetett hordalékmozgás kutatása hosszú időre tekint vissza és jelentős tudományos eredményeket értek el a témával foglalkozó kutatók (Bogárdi 1939, Károlyi 1947, Rákóczi 1971). Korábbi hazai kutatások ráadásul a hagyományos fizikai mintavételen alapuló eljárások mellett innovatív módszerekkel is próbálkoztak, mint pl. a fluoreszcenssel vagy éppen rádióaktív anyaggal megjelölt hordalékszemek követése (Rákóczi 1965, 1972). A hagyományos görgetett hordalék mintavétel alkalmazásánál (pl. Helley-Smith, BFG-típusú, Károlyi-típusú) előfordulhat például, hogy a mintavető a mederbe kap bele, vagy elfordul az áramlási irányból. De durvább mederszemcsék esetén is nehéz elhelyezni az egyenetlen folyófenéken. Általánosságban az is elmondható, hogy a mérési idő alatt nem folyamatosan érkezik a mintavetőbe a hordalék, pontos időbeli alakulásáról nem kapunk adatot (Ehrenberger 1931, Emmett 1980, Carey 1985, Van Rijn és Gaweesh 1992, Childers 1999, Vericat és társai 2006, Camenen és társai 2012). Erre és a többi, fent említett igényre a képfeldolgozás adhat választ.

Ebben a cikkben egy kutatás első eredményeit mutatjuk be, amelyben a napjainkban gyorsan fejlődő, képalapú módszereket használjuk fel és fejlesztjük célirányosan a folyami mederanyag szemösszetételének és a görgetett hordalékhozam vizsgálatára. A cikk célja, hogy saját terepi tesztméréseken keresztül megvizsgálja ezeknek a közvetett méréstechnikai eljárásoknak az alkalmazhatósági területeit és korlátjait, továbbá, hogy rámutasson, milyen egyszerű információkat nyerhetünk ki a képelemzésekből.

KÉPALAPÚ ELEMZÉSI MÓDSZEREK

Ha képfeldolgozásról beszélünk, akkor alapvetően két fő módszertani csoportot különíthetünk el. Az első, az ún. *mélység kamerák* (távolság szenzorok) osztálya. Infravörös (IR) sugarak kerülnek kibocsátásra, melyek visszaverődésének útját és idejét szenzorok érzékelik. A kibocsátás történhet strukturált (*Structured Light*, pl. Intel RealSense)

vagy strukturálatlan (*Time of Flight [ToF]*, pl. Xbox Kinect v2, Samsung GalaxyNote 10+) rendszerben. A mélység kamerák eredményeként lényegében egy 3D pontfelhőt kapunk a beszkenelt, lefotózott területről, melyhez a kamera képi felvétele társul utolsó lépésben. A kapott mélység és távolság térképből már meghatározhatók a felvett tárgyak méretei. Ezen eljárás vízi környezetben történő tesztelésére már léteznek példák (*Digumarti és társai 2016, Anwer és társai 2017*). Morfordinamikai hasznosíthatóságát tekintve, alkalmas lehet a meder finomléptékű, hordalékszemcse szintű, „domborzatjellegű” feltérképezésére és a vizsgált terület mederérdességének meghatározására. Az infravörös sugarak vízben történő elnyelődési hossza azonban egyértelmű korlátot szab az alkalmazható kameratávolságnak (és így az egyszerre belátható területnek). Továbbá, mivel a kamerák víz alatti használat során általában valamilyen tokban vannak elhelyezve, a kibocsátott infravörös sugarak hullámtani viselkedésükből kifolyólag megtörnek, irányt váltanak az új közeg határán. Ez 3 közeget (levegő, tok anyaga, víz), és kétszeri törést jelent kibocsátáskor, majd visszaérkezéskor is. A refrakcióra azonban matematikai modellekkel és kalibrációval, vagy gömbi geometriájú védőtokkal lehet válaszolni. *Jordt (2014), Jordt és társai (2016), Digumarti és társai (2016) és Anwer és társai (2017)* is végeztek kísérletet a különböző korrekciós eljárások lehetőségeire. Vízi környezetben ez idáig leginkább tisztavízű medencékben, illetve óceánokban kerültek alkalmazásra ezek az infravörös fény alapú eljárások. Morfordinamikai vizsgálatokhoz azonban a folyó által szállított hordalékkal (lebegtetett, vagy akár görgetett) is számolni kell, mivel ezek zajként fognak megjelenni a felvételen és tovább csökkentik az alkalmazható kameratávolságokat.

A másik fő kategória a (gépi) látás alapú módszerek, ahol lényegében a természetben megtalálható képalkotást vesszük alapul, azaz a tárgyakról visszaverődő fényből színeket érzékelünk. Távolságot és mélységet pedig valamilyen referencia mérethez viszonyítva becsülünk, illetve a több nézőpontból (pl. két szem megléte) történő érzékelésből. Ennek megfelelően ebben a kategóriában beszélhetünk monokuláris (*Bassmann és Besslich 1989*) és sztereó gépi látásról (*Bebeşelea-Sterp és társai 2017*). Az elsöben, mint a neve is sugallja, egyetlen kamera érzékel és csak egyetlen szemszögéből. Ez tehát azt jelenti, hogy méretek meghatározása csakis egy referencia alapján történhet. A monokuláris képfeldolgozó szoftverek folyami környezetben történő alkalmazására az említett mélység kameráknál szélesebb körben láthatunk példákat. Használatuk leginkább szárazra került kavicsos meder fotók alapján történő felszíni/felületi szemeloszlás görbéinek meghatározására terjed ki, bizonyos esetben irányultsági és alaki információval kiegészítve. A képfeldolgozás a képrögzítés után történhet vonalmenti számlálás (grid-by-number) (*Attal 2011*), geometriai (*Detert és Weitbrecht 2012*), vagy tapasztalati (empirikus) módszerrel (*Buscombe 2013*). A sztereó látás alsóportjába pedig a 3D mozifilmek készítésére használt ún. sztereó kamerák felvételei, vagy épp több, hagyományos kamera szimultán alkalmazása (az adott területre irányítva, több nézőpontból) tartoznak. Természetesen egy kamerával is megoldható, ha ugyanazon

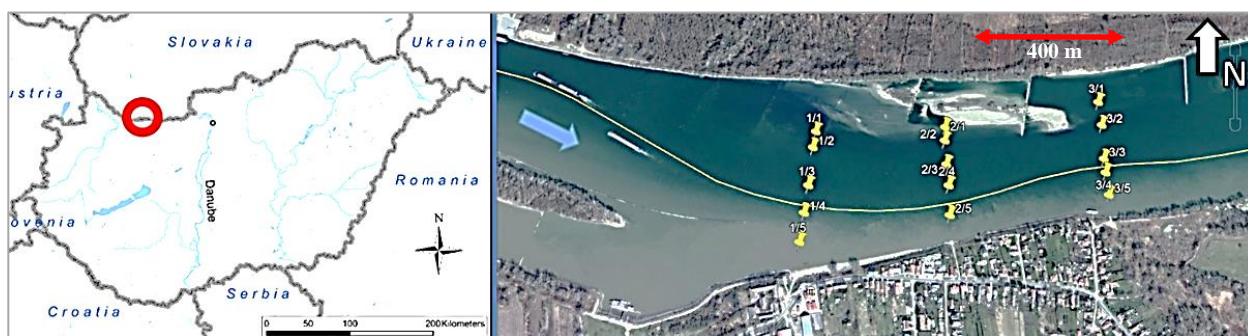
területről, vagy tárgyról több szemszögből készítünk átlapoló felvételeket. Ezen módszerek működési elve az élőlények térérzékelését igyekszik utánozni. Itt szintén 3D modellt kapunk eredményül a felvett tárgyról, viszont elmentésben a mélység kamerákkal, pontos távolság és méret információt csak az említett referencia mérethez viszonyítva kaphatunk. Így tehát szintén finomléptékű medertérképezésre és –érdesség számításra használható, de másfajta mérőeszköz összeállítását igényel. Összefoglalóan, az említett látás alapú módszerek a digitális képet mátrixként dolgozzák fel, ahol a képet alkotó pixelek a mátrix elemei, értékük pedig a pixelhez tartozó színérték (pl. RGB-kódolás esetén 3 érték egy elemhez, szürkeárnyalat esetén viszont csak 1). Elemzéskor pedig a pixelértékek közötti összefüggéseket, kapcsolatokat keressük. Víz alatti alkalmazásukkor szintén a láthatósági viszonyok jelentik a korlátokat, másrészt pedig a képfelbontás is figyelembe kell venni, hisz például, ha pixelnél kisebb hordalékszemszék jelennek meg, akkor azok nem kerülnek külön elemzésre, mert azok a felbontás (mintázás) nagyságrendjén kívül esnek.

Az eddig ismertetett módszerekre a fentiekben olyan példák kerültek említésre, melyeknél stacionárius állapotot veszünk fel (pl. fix mederfenék), ahol is a készített fénykép önmagában kerül elemzésre. Azonban, ha valamilyen dinamikus, változó folyamatot vizsgálunk (pl. görgetett hordalék), akkor képsorozatot, videót kell, hogy feldolgozzunk az adott pontban. Tehát, a visszaverődő IR sugarak által megtett út, vagy a pixelértékek időbeli változását is belevesszük a vizsgálatba. A vízmérnöki szakterületen már ilyen technológiák alkalmazása és fejlesztése is elindult, többnyire áramlástan vizsgálatokra. Ide tartozik a részecske-képen alapuló sebesség-meghatározás (Particle Image Velocimetry [PIV]) (Adrian 1991), melynek már a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéken fejlesztett változata is létezik (Fleit és Baranya 2019) és a részecske követésen alapuló sebesség-meghatározás (Particle Tracking Velocimetry [PTV]) (pl. Zsugyel és társai 2012).

Jelen tanulmányban egy monokuláris empirikus módszer, egy sztereó látás alapú módszer, illetve videóelemzési módszerek folyóban történő tesztelését és eredményeit ismertetjük, a levont tanulságokkal együtt, a Dunán végzett mérési kampányunk esetén szemléltetve. Folyómeder és medermozgás videó alapú, terepi megfigyelésre már láthatunk hazai példát (Rákóczi és Szekeres, 2003). Ezen mérések során azonban a cél a görgetett hordalék mintavetítő viselkedésének megfigyelése és megértése volt, nem pedig a képfeldolgozó eljárások alkalmazása és a látottak számszerűsítése.

MÉRÉS HELYSZÍNE ÉS MENETE

A mérési kampány helyszínéül a Duna felső-magyarországi szakaszát, Gönyű térségét választottuk (1. ábra). A döntést az indokolta, hogy a folyó mederanyaga ezen a szakaszon mind területileg (akár folyószelvényen belül is), mind időben jelentős változékonyságot mutat (Rákóczi 1979), így értelmet nyerhet az olcsóbb, gyorsabb és nem pontszerű, hanem területi információt eredményező új mérési technológiák tesztelése. A mérés során 3 szelvényben, 5-5 pontban serleges (harangos) mederanyag mintavételt végeztünk, továbbá, ugyanezen pontokban víz alatti kamerával videofelvételt készítettünk a folyómederről.



1. ábra. A mérések helye a Duna 3 szelvényében, Gönyű térségében (1791,2 - 1790,6 fkm). Szelvényenként 5 pont
Figure 1. Location of the measurements in 3 cross-sections of river Danube, nearby Gönyű (1791.2-1790.6 rkm). 5 points in each cross-section

A kamera (hétköznapi forgalomban is elérhető sportkamera) egy súlyon elhelyezett keretre volt rögzítve, egy búvárlámpával együtt (2. ábra). A referencia méretet egy, a felvételek alján még látszó, ismert méretű tárgy biztosította, ami a súly hasáival egy magasságban volt, így egyszerre feküdtek fel a mederre. A kijelölt pontokban az így összeállított installációt eresztettük le a fenékre és készítettünk vele párperces felvételeket, hogy a kinyert fényképekből szemeloszlást tudjunk vizsgálni. Az egyik függőben a mederfelszínen kialakult hordalékmozgást is rögzítettük, így lehetőség adódott képalapú görgetett hordalék elemzési módszer tesztelésére is.

KÉPELEMZÉSI MÓDSZERTAN

Állóhajós mérések – mederanyag szemeloszlás

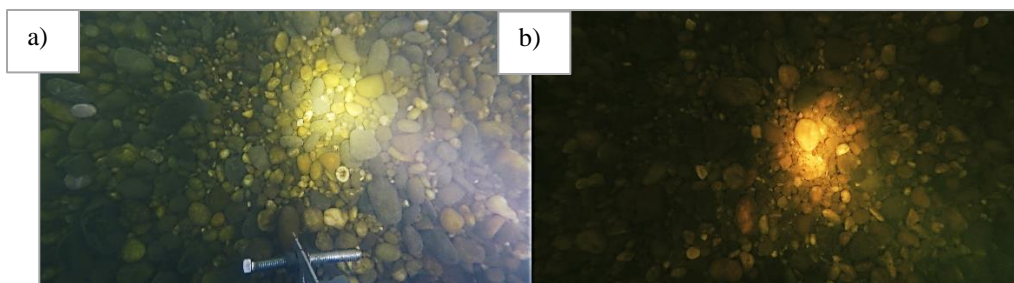
A mederanyag képelemzésére Buscombe (2013) kalibráció nélküli wavelet módszerét (transfereble wavelet method) alkalmaztuk, mely a fent említett kategóriák közül a látásalapú és empirikus eljárások közé sorolható. A mérés során készített fényképeket (két példa a 3. ábrán) a program szürkeárnyalatos képekké alakítja, majd választható közökkel pixel soronként és oszloponként a képpontok pixelértékét vizsgálja. Az adott sorban, vagy oszlopban kapott értékeket „jelként” kezeli és korábbi megoldásokkal

ellentétben nem Fourier-, hanem wavelet-transzformáció-nak veti alá. A kapott elemi waveletek (lényegében a hor-

dalékszempcsék) spektrum analiziséből pedig a sűrűség-függvényt és a szemeloszlást állítja elő.



2. ábra. A mérésnél használt műszer összeállítás
Figure 2. The applied measurement setup



3. ábra. Példák a készült vizalatti mederfelvételekből
(Megjegyzés: A képek alján a referenciaméretet biztosító ismert méretű tárgy látható.
A képelemzéshez a színes képeket szürkeárnyalatos képekké kellett alakítani.)
Figure 3. Examples of underwater riverbed images taken during the measurements
(Note: In the bottom part of the images the known-sized object can be seen for reference.
For the image analysis, the colorized pictures had to be transformed to grayscale.)

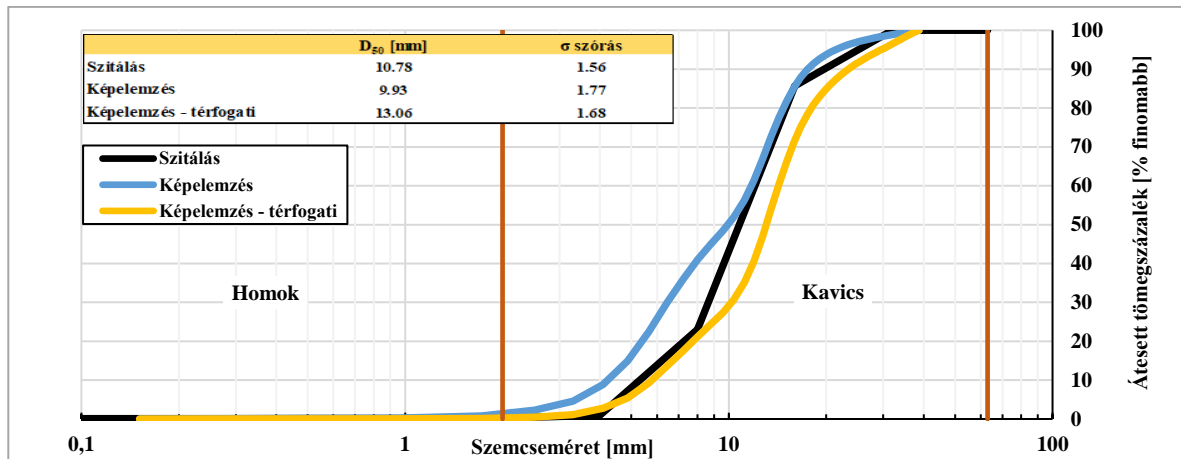
Ezen kívül, a mederanyag szemeloszlásának meghatározására, a vett mintákat laboratóriumban kiszárítottuk és rázósztira sorsal osztályoztuk. A lemért tömegek alapján szemeloszlási görbéket készítettünk. Az így kapott szemeloszlást összevetettük a képelemzés eredményeivel. A finom és közepes kavics (2 mm – 20 mm) mederanyagú esetekben jó egyezést kaptunk (4. ábra). A két eredmény összehasonlításakor azonban fel kell tenni a kérdést, hogy mennyire vehető össze a két görbe. Tudniillik, a szítálás egy tömegeloszlást (átlagos sűrűséggel számolva pedig térfogatoszlást) ad, míg a képalapú vizsgálat a meder felszínén látszó felületi eloszlást. Továbbá, a haragos mintavevő valamelykor mélységben bele is kap a mederbe, így nem feltétlenül csak a legfelső réteget mintázza, ráadásul ezt egy bizonyos hosszon teszi, amíg húzzák. A két eloszlás-típus közötti kapcsolat közelítő vizsgálatára egy, a területen korábban elvégzett alakitani vizsgálatára egy, a területen korábban elvégzett alakitani vizsgálat eredményeihez folyamodtunk (5. ábra). Egy szemcsetengely-aránypár került meghatározásra a mért értékek kiátlagolásából (5. ábra, fekete jelölő). Ezt használtuk fel arra, hogy a képelemzésből kapott felületi szemeloszlást térfogatívá alakítsuk.

Feltételeztük, hogy a mederfelvételeken mindig az egyes szemcsék leghosszabb (a) és középső (b) tengelyei látszanak. A képelemzés szemeloszlás görbéi ez utóbbi (b, azaz középső tengelyek) eloszlását adják vissza. Ezeket az

észlelt b tengelyeket használtuk fel, hogy az 5. ábrán látható átlagos b/a (középső/leghosszabb tengely) és c/b (legrövidebb/középső tengely) aránypárral mindegyik felbukkanó b tengelyre kiszámoljuk a másik két tengelyt. Így kaptunk egy feltételezett (korong) térfogatot mindegyik szemcsére, amiből átlagos sűrűséggel (kvarc anyagú hordalékot feltételezve $\rho = 2,65 \text{ g/cm}^3$) számolva tömeget határoztunk meg.

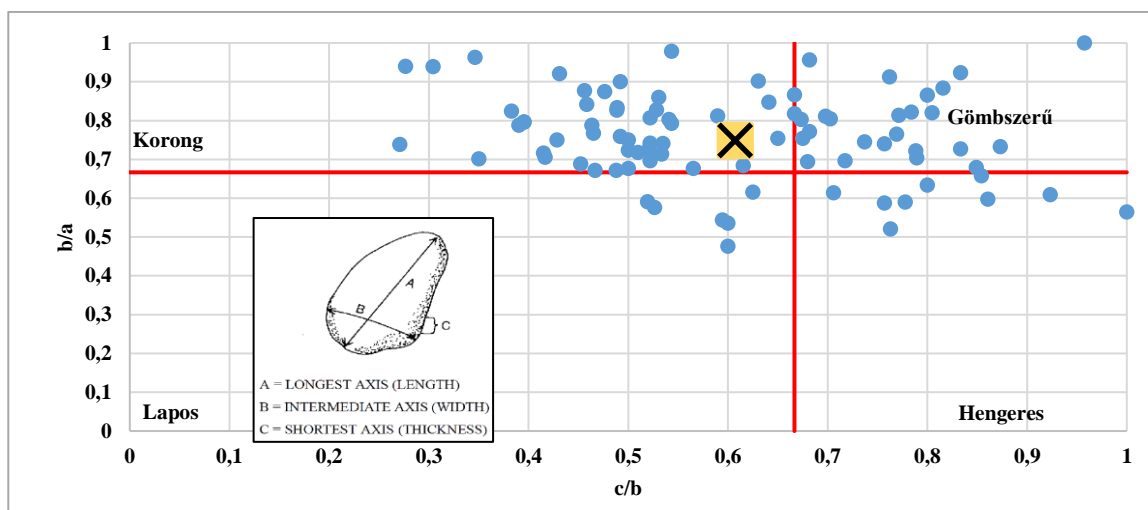
Olyan pontokban, ahol a mederanyag homok frakciót is tartalmazott (7. ábra) a képelemzés nem eredményezett kielégítő egyezést a szítálás eredményével. Ezen a térfogati transzformáció sem változtatott. Ennek magyarázatára az alkalmazott wavelet módszer alsó felbontási határa ad magyarázatot. Ez az érték korábban elvégzett kutatások szerint (Buscombe és Masselink 2008, Cheng és Liu 2015) 2-3 képpont körüli. Esetünkben az alkalmazott kamerafelbontással és műsértávolsággal ez 0,7 mm valós méretet jelentett. Ennél kisebb méretű szemcséket tehát nem tudott számításba venni. Ennek bizonyítására, a fizikai mintából elhagytuk az 1 mm-nél kisebb frakciókat és készítettünk egy új szemeloszlási görbét (7. ábra). Látható volt, hogy a görbék így közelebb kerültek egymáshoz, valóban jobb egyezést mutattak.

Az átváltás több esetben javulást eredményezett (6. ábra), míg az eddig is jó egyezést mutató pontokban nem okozott nagyobb változást.



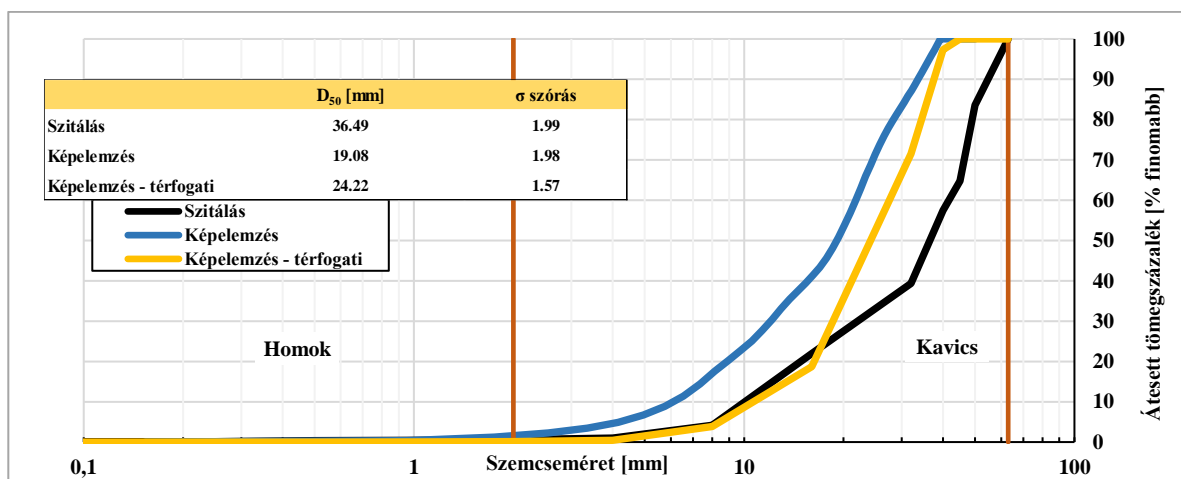
4. ábra. Szitálással (fekete) és képelemzéssel (kék) kapott szemeloszlási görbék összehasonlítása az 1/1 mérési pontban, az 1791,2 fkm szelvényben

Figure 4. Grainsize distributions from sieving (black) and image processing (blue) in point 1/1, in the 1791.2 rkm section



5. ábra. Korábban végzett alaktani vizsgálat eredményei a Zingg diagramon (kékkel) és az átlagos értékpár (fekete kereszttel), mely az átváltáshoz felhasználásra került

Figure 5. Grain shape assessment results from earlier measurements carried out in the area, showed on Zingg diagram with blue, and the average value used for the transformation (black cross)

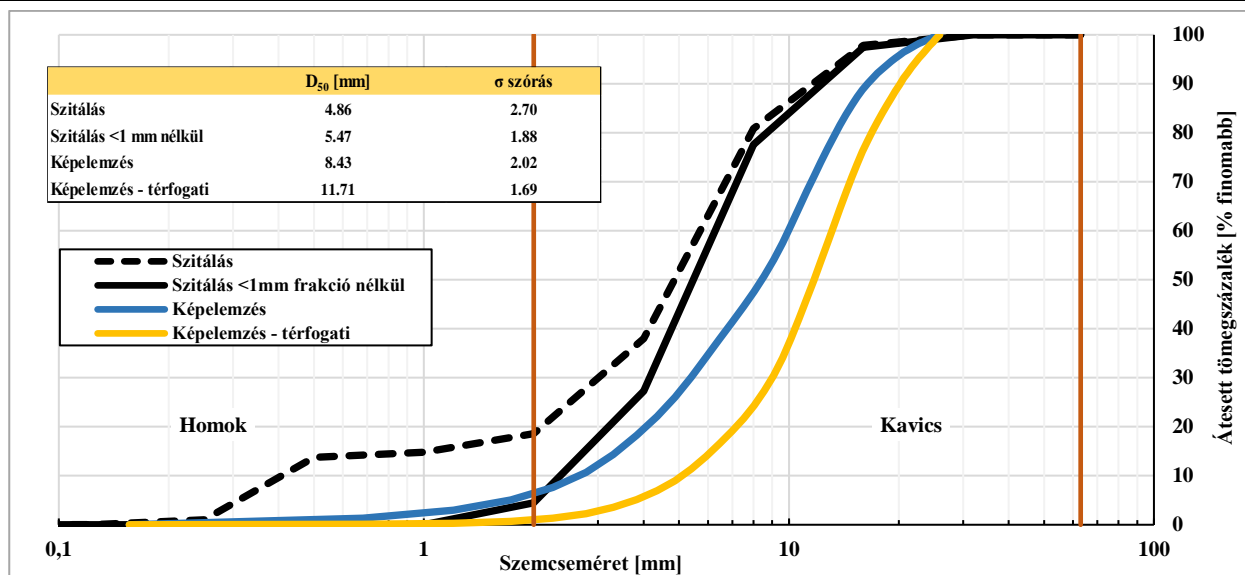


6. ábra. A szemeloszlási görbék összehasonlítása a 2/2 pontban, az 1790.8 fkm szelvényben

(Megjegyzés: A képelemzés felületi eloszlását (kék) az átlagos alak feltételezésével átválta (sárga) közelebbi egyezést kaptunk a szitálás eredményéhez (fekete). Az egyezés a finom és közepes kavics (2 mm – 20 mm) tartományban állt elő leginkább (ld. szemeloszlás görbe alsó ága), de az egész szemeloszlás görbe is közelebb került a szitált eredményhez.)

Figure 6. Grainsize distributions in point 2/2, in the 1790.8 rkm section

(Note: Transforming the surface distribution of image processing (blue) into volumetric distribution (yellow) using the average shape value resulted in a closer match with the sieving (black). The match is the most prominent in the fine and medium gravel (2 mm – 20 mm) size class (i.e. lower tail of the curve), but the complete curve got closer to the sieving results as a whole.)



7. ábra. A szemeloszlási görbék összehasonlítása a 3/4 pontban, az 1790,6 fkm szelvényben

(Megjegyzés: Az eredeti (kék) és a transformált (sárga) képelemzés eredményei is lényegesen eltérnek a fizikai minta szítással kapott szemeloszlás görbétől (szaggatott fekete). A szítálás eredményét az 1 mm-nél finomabb frakciók nélkül ábrázolva (folytonos fekete) már közelebbi az egyezés.)

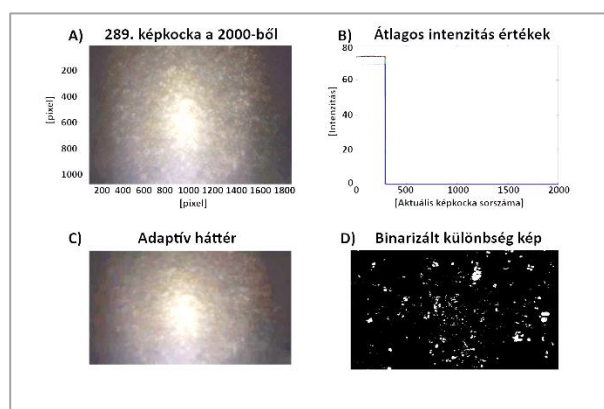
Figure 7. Grainsize distributions in point 3/4, in the 1790.6 rkm section

(Note: The original image (blue) and the transformed (yellow) image processing results are both deviate significantly from the physical, sieved sample grainsize distribution (black dashed). After removing the fractions which were finer than 1 mm from the sieving, the new result (continuous black) resulted in better match with image processing.)

Állóhajos mérések – görgetett hordalék

A 3/2 mérési pontban a felvételek szerint görgetett hordalékmozgás is kialakult, így alkalom adódott a képfeldolgozás ezen a téren történő alkalmazására is. Ebben az esetben, a térfigyelő rendszereknél már ismert ún. statisztikai háttérmodellt (Bouwmans 2010, Jeeva és Shivabalakrishnan 2015) alkalmaztuk (8. ábra). Ennek lényege, hogy minden pixel helyén vizsgáljuk, hogy hogyan változik a videó során annak értéke (színe, vagy szürkeségi értéke). A leggyakrabban előforduló értéket háttérként fogja azonosítani és elkülöníteni. Innen már lehetséges az előtér (mozgó rész) detektálása, hisz ehhez csak ki kell vonni az eredeti videóból a kapott háttérteret. Esetünkben a háttér a fix mederfeneket jelenti, hisz ez a leggyakrabban visszatérő érték a videón. Ez előtt haladnak el a különböző, görgetett hordalékszemcsék, melyek pillanatnyi változásokként jelennek meg, megalkotva az előtérteret. A módszer ráadásul adaptív, tehát, ha egy szemcse beérkezik a képbe, de valamilyen nem halad tovább, akkor beépül a háttérbe, vagyis a modell alkalmazkodik, frissül. Az ismertetett módon leválasztott háttérteret (stabil mederanyagot) a korábban bemutatott képelemző wavelet módszerrel szintén elemezni lehet szemeloszlás szempontjából.

Az előtér-háttér szétválasztása után a mozgó részeket tehát elkülönítve tudtuk vizsgálni (fehér részek). A képeket ezután 5 sávra osztottuk és ezekben külön elemeztük az egyes pillanatokban mozgásban lévő hordalékszemcsék tömegét (9. ábra). Az egyszerűség kedvéért gömb alakú közelítettünk minden szemcsét és így, a felvételen éppen látszó méretük alapján térfogatot határoztunk meg, majd pedig egy átlagos sűrűséget (2,65 g/cm³) alkalmazva számoltuk ki a mozgásban lévő tömeget.



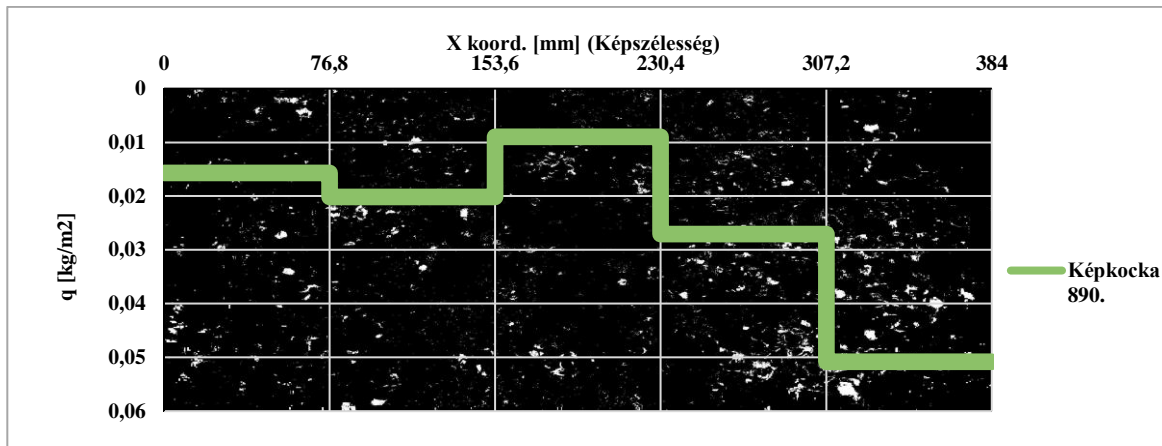
8. ábra. A statisztikai háttérmodell alkalmazása a mérés során készült görgetett hordalékos videóra

(Megjegyzés: A) A nyers felvétel egyik képkockája. B) Az átlagos szürkeségi értékek alakulása a videó folyamán. C) A számított háttérmodell (fix meder). D) Az eredeti videó és a háttérmodell különbsége, azaz az előtér. Fehérrel a mozgásban lévő hordalék látszik.)

Figure 8. Basic steps of the applied statistical background model method on the bedload video.

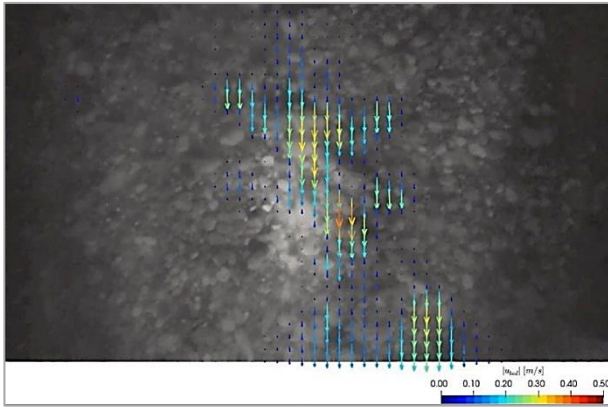
(Note: A) One of the frames from the raw footage. B) Time series of the average grey values during the video. C) The calculated background model (fix riverbed). D) The difference of the raw video and the background model, resulting in the foreground. Moving particles are presented with white colour.)

A tömeg után a hordalékszemcsék sebességét vizsgáltuk. Ezt az ún. részecske-képen alapuló sebesség-meghatározás (Particle Image Velocimetry [PIV]) módszerrel tettük meg. Lényege, hogy keresztkorrelációval azonosít be mintázatokat az egymást követő képeken és méri azok elmozdulását. Továbbá, mivel a két kép között eltelt idő ismert, így sebességet tudunk számolni. Eredményül egy sebesség-vektormezőt kapunk az adott pillanatban (10. ábra). Fontos megemlíteni, hogy itt nem történik részecske detektálás a szó szoros értelmében, hanem a mezők, mintázatok sebességét határozzuk meg (vagyis Euleri szemléletet alkalmazunk).



9. ábra. A becsült pillanatnyi, fajlagos görgetett hordalékhozam tömege egységnyi felületre vetítve (Megjegyzés: A vízszintes beosztás azt mutatja, hogy a kép 384 mm széles területet foglalt magába, valamint az 5 függőleges sáv-kiosztás is fel van tüntetve. A függőleges beosztás az adott képkocka (itt a 890. számú képkocka) adott sávjában éppen mozgásban lévő hordalék (fehér részek) becsült tömegét adja meg, zöld vonallal kiemelve.)

Figure 9. The estimated specific bedload in case of Frame 890, showing the mass of moving particles in the given image column (Note: On the horizontal axis the width of the picture (384 mm) and the distribution of 5 vertical bands are presented. The vertical axis shows the estimated mass of the moving sediment (white particles) per unit area in each of the bands (with green colour), in the given video frame (here frame no. 890).)



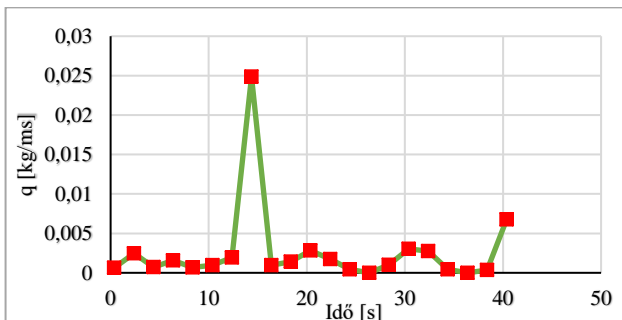
10. ábra. A görgetett hordalék sebesség-vektormező egy adott pillanatban

(Megjegyzés: A felismert minták elmozdulásából és a közben eltelt időből számítva (PIV módszer))

Figure 10. The instantaneous bedload velocity-field calculated with PIV

(Note: Calculated from the displacement of identified patterns and the time passed between frames (PIV method))

Végezetül a korábban is használt 5 sávra kiátlagoltuk a területükre eső sebességeket, majd pedig a teljes képre kiszámoltuk a fajlagos görgetett hordalékhozamot és ábrázoltuk annak időbeli alakulását (11. ábra).

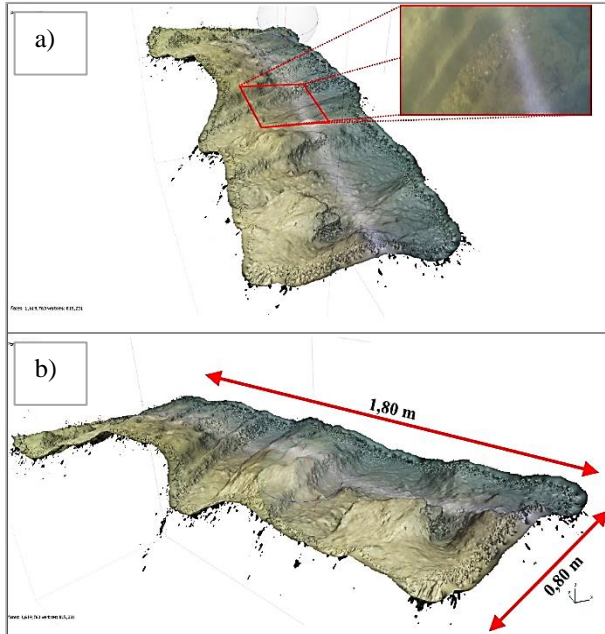


11. ábra A fajlagos görgetett hordalékhozam időbeli változása a videófelvétel során, az 1790,6 fkm szelvény 3/2 pontjában
Figure 11. Time series of the estimated specific bedload for the duration of the video, in point 3/2 of section 1790.6 rkm

Mozgóhajós mérések – mederfelszín rekonstrukciója, 3D modell előállítás

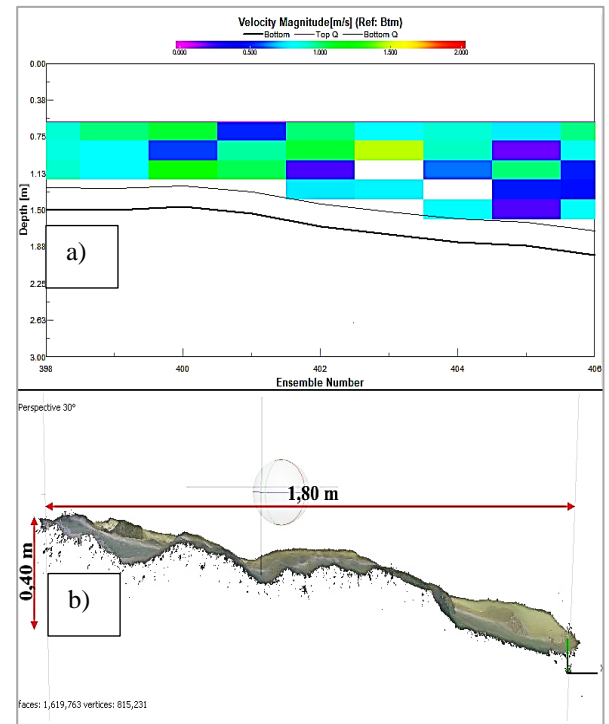
Az eddig bemutatott módszerek az állóhajós mérések eredményeire lettek alkalmazva, amikor is az éppen kiválasztott függély fölött állt a mérőhajó és onnan eresztették le a kamerát a mederfenékre. Végeztünk azonban mozgóhajós mérést is, amikor egy adott szelvény mentén vettük fel a medret, annak érdekében, hogy egybefüggő felvételeink legyen a szelvényről és bármelyik pontjából ki tudjunk nyerni képet a mederanyag elemzésre vagy éppen hogy teljesülhessen a nem pontbeli, hanem mezőszerű adatok kinyerése. Egy ilyen szelvénymenti videó azonban másra is felhasználható. Mivel a kamera haladása közben több szemszögből is rögzít egy adott területet, fel lehet építeni a szelvény mederfelszínének 3D modelljét a térinformatikában már ismert, ún. Structure-from-motion (SfM) eljárással (Westoby és társai 2012). A módszer lényege itt is az egymást követő képek közös pontjainak meghatározása, azonban bonyolultabb műveletek alapján. Skála- és irányfüggetlen fotometriailag invariáns pont-leírók (Scale Invariant Feature Transform, SIFT) kerülnek használatra, melyek a jellemző pontokat nyelik ki a képekből. Minden ponthoz pozíció, magnitúdó, skála és irány kerül meghatározásra. Ezek után a pontok környezetének vizsgálata és társítása következik. Eredményül egy térbeli, ritka pontfelhőt kapunk a jellemző pontokról (Micheletti és társai 2014, 2015). Következő lépésként a ritka pontfelhő besűrítése következik Irány és Helyzet Meghatározó (Multi View Stereo [MVS]) módszerek egyikével (pl. Furukawa és Ponce 2010). Ezek a módszerek manapság már igen robusztusak, illetve képesek a kamera paramétereivel (pl. torzítás) is kalkulálni, így hétköznapi okostelefonokkal is létrehozhatók 3D modellek. Ráadásul olcsó, akár ingyenes (pl. internet-alapú) feldolgozó szoftverek is elérhetők, amik szintén könnyen elérhetővé teszik a módszert (pl. OpenDroneMap – WebODM). A 11. ábrán a felmért szelvény egy részlete látható már kész 3D modellként. A vizsgálatokhoz az Agisoft Metashape szoftvert alkalmaztuk (Agisoft LLC 2019), mely képes a fent említett lépések elvégzésére. A cikk benyújtásáig két szelvény részleteinek

elemzésére került sor (12. és 15. ábra), melyek itt csak bemutatójelleggel kerülnek közlésre. A számítások elvégzése egy 20 m x 0,60 m mederszakaszra tapasztalatunk szerint egy hétköznapi asztali számítógép (Intel Core i7-7700 CPU 3,6 GHz, Aorus Radeon Rx580 8GB GPU, RAM 8GB) esetében és a megkívánt pontosság függvényében 10 – 20 órát is igénybe vehet.

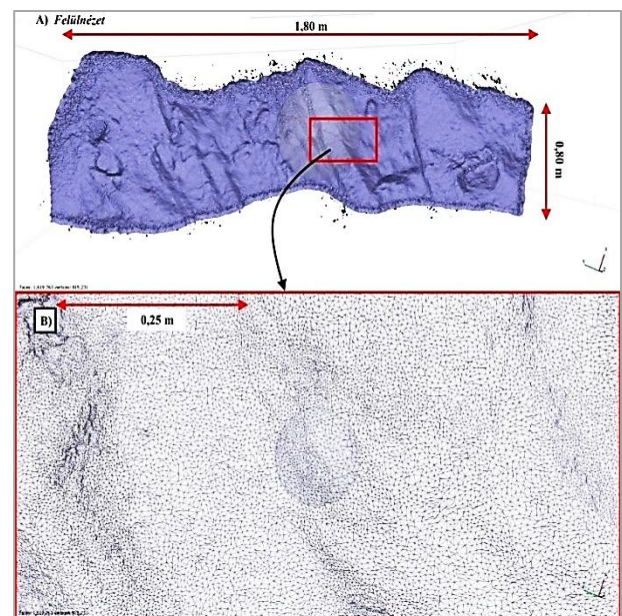


12. ábra. A meder egy részletének SfM módszerrel előállított 3D modellje
(Megjegyzés: A 12a. ábrán látható a készített videó egyik képkockája és annak helye a 3D modellben)
Figure 12. The SfM-generated 3D model of a given riverbed portion
(Note: In Figure 12a. one of the frames of the used video is highlighted along with its location in the 3D model)

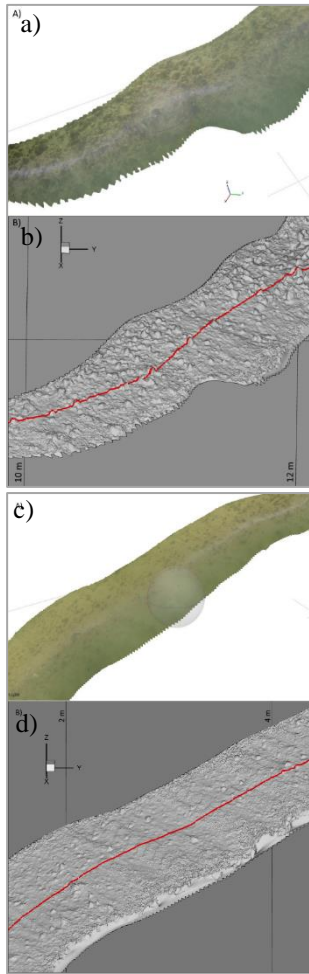
A szelvénymenti kamerázás GPS és ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) méréssel egyidejűleg történt. Az ADCP mérés során a mérőeszközt egy mérőhajóhoz rögzítve, előre választható függőleges, és a mérőhajó sebességétől függő vízszintes felbontással mérhető a tetszőlegesen bejárt út menti térbeli áramlási sebességeloszlás. A mérés a Doppler-effektusra épül. A műszer által kibocsátott akusztikus hullámok a víz által szállított hordalékszemcsékről és a mederről különböző idő alatt és az eredetileg kibocsátotthoz képest (a visszaverő részecske sebességétől függően) eltolt frekvenciával érkeznek vissza. Az eltelt idő és a frekvencia-változás segítségével tehát számítható az áramlási sebesség különböző mélységekben. Biztosítható tehát, hogy koordinátákat és áramlási adatokat rendeljünk a kamerával részletesen feltérképezett mederhez (13. ábra). A digitális modell rácshálává is átalakítható (14. ábra), mely így már numerikus modellezést is kiszolgálhat, finomléptékű felbontással. Ezt társítva az ismertetett képelemzési módszer mederanyag szemeloszlás görbéivel, illetve az ADCP sebesség adataival, a szokásosnál részletesebb mederérdeklőség, illetve mederváltozás információk nyerhetők ki a numerikus modellekből.



13. ábra. Az ADCP által feltárt meder (13a, vastag fekete vonal), és a kamerafelvételből készített digitális medermodell hosszmetsete (13b)
(Megjegyzés: Az ADCP mérésből kapott durva medergeometria kicserélhető a részletes, 3D modellre. Oldalnézet.)
Figure 13. The riverbed section from the ADCP measurement (13a, thick black line) and the section of the digital model recreated from the video with the SfM method (13b)
(Note: The coarse bed geometry from ADCP measurement can be replaced with a finer, more detailed 3D model. Side view.)



14. ábra. A felvízi szelvény feltárt mederszakaszának SfM által generált strukturálatlan számítási rácsháló felülnézete
(Megjegyzés: 14a. Teljes szakasz felülnézete. 14b. Közelebbi a kiemelt részből, szintén felülnézete. Átlagosan 2 cm-es rácstávolsággal.)
Figure 14. Plan view of the SfM-generated unstructured computational mesh of the presented upstream riverbed portion
(Note: 14a. Plan view of the whole portion. 14b. Zoomed into the highlighted area, still plan view. Average 2 cm mesh size.)



15. ábra. Alvizi szelvény egy szakaszára előállított 3D modell részletei

(Megjegyzés: Baloldalon egy durvább szakasz (15a, 15c), míg jobboldalon egy finomabb, homokosabb szakasz (15b, 15d) látható. A teljes modellezett szakasz 21 m hosszú volt.)

Figure 15. Parts of the 3D model from the downstream section (Note: On the left (15a, 15c) a coarser bed section, while on the right a finer, sandier section (15b, 15d) can be seen. The whole modelled section was 21 m long.)

ÉRTÉKELÉS

Tapasztalatként elmondható, hogy a *mederanyag elemzéshez alkalmazott kép alapú* módszer a 3-4 pixelnél (esetünkben ez a durva homok frakció volt) kisebb mederanyag szemcséket nem, vagy nem helyesen érzékelte, az ilyen jellegű mintavételi pontokban nem működött jól. Így, azon pontokban, ahol jelentősebb mennyiségű homokot tartalmazott a meder, nem volt elfogadható egyezés a képi és szitált görbék között. Ez a tapasztalat egybevágott a korábbi kutatások eredményeivel (Buscombe és társai 2010). Továbbá, azt is látni lehetett, hogy az alaktani vizsgálatok kiterjesztése (frakciónként más alak feltételezése, pl. gömb homok – korong kavics) hasznosítható a módszer fejlesztésére. A terepi műszerösszeállítás gyorsan és könnyen bevethető, valamint a képelemzés is gyorsan történik és nagyobb területek is lefedhetők vele, így a fejlesztésével érdemes foglalkozni.

Iszapos mederrészen az állóhajós mérés sikertelen volt, mivel az összeállított műszernek érintkeznie kellett a mederrel, a referenciaméret biztosítása végett, ezzel azonban

felkevertük a leülepedett iszapot és a fényképezés nem sikerült. A mérés óta ez a probléma már kiküszöbölésre került. A referenciaméretet lézerek biztosítják, melyek a kamera mellől a fenékre világítanak. A lézerforrások egymástól ismert távolságra helyezkednek el a kereten, így mivel a mederre merőlegesek, a felvételen látszó pontjaik is az ismert távolságra vannak egymástól, amikor eléri a medret. Így már nem kell a műszernek érintkeznie a mederfelszínnel, elkerülhető a felkeverés.

A görgetett hordalékmozgás videó alapú elemzése is ígéretesnek bizonyult. Az adaptált statisztikai háttérmodell továbbá lehetővé teszi, hogy elkülönítsük és a wavelet módszerrel külön elemezzük a fix medret is. Kutatási szempontból a szemcseszintű követés és tényleges pillanatnyi hordalékhozam meghatározása is érdekességeket, plusz információt hozhat. Hagyományos görgetett hordalékhozam mérés itt azonban nem történt, mert elsődleges célunk a mederanyag vizsgálata lett volna. Így mintavevővel mért értékkel nem tudtuk összevetni.

A választott Structure-from-Motion módszer igen robusztus. Alig igényelték a felvételek utómunkát a kívánt 3D modell létrehozásához. Zajsűrés, illetve finomhangolás a későbbiekben még szükséges lehet.

Az ismertetett és bevetett eljárások együtt igen részletes információval tudnak szolgálni a folyók hidromorfológiai vizsgálatához. Látható volt, hogy egy szelvénymenti mederveidőzásból a fenti adatok mind kinyerhetők, ráadásul ez történhet más méréssel párhuzamosan is (pl. ADCP), így időt is spórolhatunk. Érdeemes megemlíteni, hogy ezekkel a képfeldolgozó módszerekkel látjuk is, hogy mit mintázunk pontosan. Gondoljunk csak a görgetett hordalék mintavételezésnél adódó problémákra: a mintavevő nem fordul be folyási irányba, vagy belekap a mederbe és mederanyag is bejut a görgetett mintához, vagy akár arra, hogy a nagyobb kavicsok esetén a mintavevő szája nem feltétlen tud leülni a mintavételezéshez és elhalad alatta a hordalék. De ugyanígy a serleges mederanyag mintavételnél sem tudhatjuk, hogy a mederbe milyen rétegvastagságban kapott bele és milyen hosszban. Az elemzési idő is lerövidül, valamint a korábbi pontszerű információkat már mezőszerű értékekre cserélhetjük, hisz egybefüggő felvételeink vannak. A módszerek fejlesztése és tovább gondolása tehát indokolt.

Ugyanakkor tény, hogy képalapú módszerek lévén, a láthatósági viszonyok is korlátot szabnak. A víz alatt történő felvételek esetén ez a vízjárás viszonyoktól függ. Nagyvíz esetén nagyobb a lebegtetett hordalék koncentráció, csökken a látótávolság, így a kamera közelebb kell, hogy elhelyezkedjen a mederhez, hogy rögzíteni tudja azt, ezzel viszont csökken a kamera által lefedhető terület is. Ilyen vízjárás esetén a görgetett hordalékhozam is megnövekszik. Mint bemutattuk, lehetőség van a görgetett hordalék leválasztására a stabil mederről és a kettő külön-külön történő elemzésére, azonban ez korlátozott mértékig történhet. A fix medernek időnként fel kell bukkannia, hogy a módszer működhessen. Így tehát, ha akkora a hordalékszállító képesség, hogy a görgetett hordalék lepelszerűen áramlik (azaz, a gyorsabban mozgó részecskék az

alattuk lévő, de szintén mozgó, lassú szemcséken gördülnek), akkor sem az alsó görgetett réteg, sem a meder nem fog látszani. Ilyen esetekben más mérési módszereket kell alkalmazni (pl. akusztikus eljárások, mint az ADCP is, *Thorne és Bell 2009*). Az ismertetett képi módszerek tehát inkább kis- és középvíz idején vethetők be.

FEJLESZTÉSI IRÁNYOK

Elmondható, hogy a felvételek felbontásának növelésével mindegyik módszer eredménye javulni fog. A mérés során csupán 1080p felbontással dolgoztunk. Például, a wavelet módszer 3-4 pixeles (esetünkben 0,7 mm körüli) érzékelési alsó határa így már a közepes, vagy akár finomabb homok tartományába fog esni.

A mederanyag szemeloszlás-elemzésénél a felbontás növelésével járó javuláson kívül, mesterséges intelligencia bevonását tervezzük, mely a hullámcsomag-módszer számára túl finom képrészleteket is érzékelné, s így, a két módszert párosítva kaphatnánk teljesértékű információt a mederanyagról. Ebben az irányban már megkezdődött a törekvés, ugyanis egy Mélytanuló (Deep Learning) algoritmus már fejlesztésnek indult, melyet drónfelvételekre teszteltünk, partmenti területeken (*Benkő 2020*). A társítás után az automatizálás következne, melynek lényege az lesz, hogy a szelvénymenti, mozgóhajós kamerázás eredményei gyorsan és könnyen a felhasználó rendelkezésére álljanak. Ezen kívül, messzebbre mutató alaktani vizsgálatok folytatása és a felületi-térfogati eloszlás közötti átváltás további kutatása, melyekhez további segítséget jelenthet zavartalan, fagyasztásos mederanyag mintavételezések elvégzése is. Mélység kamerák terepi alkalmazása is nyitott kérdés egyelőre (pl. ToF alapú eljárás), melyekkel érdemes lehet még a jövőben foglalkozni.

A görgetett hordalék videó alapú elemzésénél a következő lépés egyértelműen a mérési eredményekkel való összevetés lesz. A kamerát a görgetett hordalék mintavetőre fogjuk helyezni. Az alaktani vizsgálatok itt is szerepet fognak játszani. Ezek után, a szemcseszintű követés és hordalékhozam számítás (PTV) lehetőségeit is szeretnénk tovább vizsgálni, valamint a módszer alkalmazhatóságainak határait is szükséges feltárni (pl. mi az a nagyobb hordalékhozam, amikor a szemcsék lepelszerűen, a felvételtől egymást kitarva mozognak).

A digitális medermodell előállítására alkalmazott SfM módszer eredményei a kamerafelvétel képkocka-sebességének növelésével tovább javíthatók. A mérés során 48 képkocka/másodperces beállítást alkalmaztunk. Ennek növelésével azt érjük el, hogy a kép kevésbé mosódik el a kamera és a mérőhajó haladási sebességének növelésével (javul a minőség). Ugyanannál a haladási sebességnél, egy távolabbi kamerafelvétel kevésbé kenődik el, mint egy mederhez közelebbi, hisz az előzőnél nagyobb a felvett terület, kisebb változás következik be a képben ugyanakkora idő alatt. A képkockasebesség növelésével tehát szükség esetén (pl. nagy lebegtetett hordalékhozam miatti rossz látási viszonyok) a kamera közelebb is mehet a mederhez anélkül, hogy a hajónak jelentősen lassítania kellene.

A fentiekből is látszik, hogy a képfelbontásra és a képkockasebességre érdemes úgy gondolni, mint a mintázások gyakoriságára. Az első a térbeli, míg a második az időbeli gyakoriság. Minél változékonyabb a célterület, annál inkább sűríteni kell a méréseket.

KÖVETKEZTETÉSEK

A cikkben ismertettük a Dunán eddig szerzett képalapú mederanyag szemeloszlás (3 szelvényben, 1791,2-1790,6 fkm) vizsgálataink tapasztalatait és eredményeit, továbbá görgetett hordalék és mederdomborzat elemzése szempontjából is megvizsgáltuk a felvételeket. Végezetül pedig kitekintést tettünk ezek fejlesztési lehetőségeire és további kitűzött céljainkra.

Mіндеzt tettük annak fényében, hogy a gyakorló vízmérnökök gyakran szembesülnek azzal, hogy a szükséges morfordinamikai paraméterek nem, vagy nem kielégítően állnak rendelkezésre. Továbbá, a hagyományosnak tekintett mintavételezési eljárások számos esetben nem szolgáltatnak reprezentatív információt. Egy változékony mederszakaszon például felmerül a kérdés, hogy milyen sűrűn mintázzunk. Tapasztalataink szerint problémát okoz továbbá az is, hogy sokszor nem határozható meg egyértelműen a serleges mederanyag mintavételi eljárásnál a mintavétel pontos helye és a mintázott mederréteg vastagsága, sőt a minta tömege alapján annak reprezentativitása sincs biztosítva. A görgetett hordalék mintavételezés során is számos mérési nehézséggel szembesülünk, melyek részben kiküszöbölhetők tapasztalt és a mérőeszközt körültekintően használó mérőstábbal és a hordalékviszonyokhoz megfelelő mintavető alkalmazásával. Mindemellett a hagyományos mintavételi eljárások és elemzések igen költség- és időigényesek. A hagyományos eljárások nehézségein túl azt is tapasztaljuk, hogy vízmérnöki vizsgálatoknál egyre nagyobb felbontású számítógépes modelleket alkalmaznak, amelyek akár a mederalakváltozási folyamatok előre jelzésére is képesek, jóllehet a modellek paraméterezése és igazolás, mint minden modellnél, kulcskérdés. Ahhoz viszont, hogy a részletgazdag leírást alkalmazó számítógépes modellek paraméterezése megfelelő legyen, a terepen gyűjtött adatok mennyiségének és minőségének is fejlődnie kell. Az említett módszerek fejlesztésével elérhető lehet a mederanyag térképszerű feltárása, az eddigi pontbeli mintavételek helyett részletesebb adatokkal, valamint akár hordaléksebesség-léptékű, finomfelbontású számítási hálóval lehetne a numerikus modellek paraméterezését és felépítését, számítási pontosságát javítani. Az összefüggő és részletes információkkal pedig a meder és az áramlás kapcsolata is behatóbban vizsgálható.

Összegzésképpen elmondható, hogy a tanulmányhoz vizsgált és alkalmazott képi eljárások ígéretesnek bizonyultak. A tapasztalt korlátok egyértelműen kiterjeszthetők még egy bizonyos szintig (pl. felbontás és képkockasebesség növelése), ahonnan pedig további vizsgálatok szükségesek majd (pl. alaktani és fagyasztásos vizsgálatok).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben bemutatott kutatás kapcsolódik a SEDDON II elnevezésű Ausztria-Magyarország határon átnyúló együttműködési programban megvalósított projekthez és a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) által támogatott „Tiszta ivóvíz: a biztonságos ellátás multidiszciplináris értékelése a forrástól a fogyasztóig” projekthez. A második szerző köszönetét fejezi ki az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-4 Kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásáért és az MTA Bolyai János kutatási ösztöndíjért. A harmadik szerző köszönetét fejezi ki az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-3 Kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásáért. A tanulmány kapcsolódik továbbá az NKFIH támogatásával megvalósuló FK128429 számú kutatási projekthez és az Emberi Erőforrások Minisztériuma által támogatott FIKP-VÍZ Programhoz.

IRODALOMJEGYZÉK

- Adrian, R. J. (1991). Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 23 (1991) 261-304. <https://doi.org/10.1146/annurev.fl.23.010191.001401>
- Agisoft LLC (2019). Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.5. 2019, <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>
- Anwer, A., Ali, S. S. A., Khan, A., Meriaudeau, F. (2017). Underwater 3D Scene Reconstruction Using Kinect v2 Based on Physical Models for Refraction and Time of Flight Correction. *IEEE Access*. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2733003
- Attal, M. (2011). Determining grain-size distributions using photographic methods (surface) or sieving methods (sub-surface). *School of GeoSciences - University of Edinburgh*.
- Bassmann, H., Besslich, P. W. (1989). Monocular computer vision. *Third International Conference on Image Processing and its Applications - 18-20 July 1989*. Warwick, UK.
- Bebeșelea-Sterp, E., Brad, Ra., Brad, Re. (2017). A Comparative Study of Stereovision Algorithms. (*IJACSA International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 8, No. 11, 2017.
- Benkő, G., Baranya, S., Török, T. G., Molnár, B. (2020): Folyami mederanyag szemösszetételének vizsgálata Mély Tanulás eljárással drónfelvételek alapján. *Hidrológiai Közlöny*, 100. évf. 1. szám. pp. 61-69., 9 p. ISSN: 0018-1323.
- Bogárdi, J. (1939). Hordalékmérési kísérletek a Felső-Dunán. *Vízügyi Közlemények*, 21. évf., pp. 115-131.
- Bouwman, T. (2010). Statistical Background Modeling for Foreground Detection: A Survey. *Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision*, pp. 181 – 199. doi: 10.1142/9789814273398_0008.
- Buendia, C., Gibbins, C. N., Vericat, D., Batalla, R. J., Douglas, A. (2013). Detecting the structural and functional impacts of fine sediment on stream invertebrates. *Ecol. Indic.* 25: 184-196. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.09.027>
- Buscombe, D., Masselink G. (2008). Grain size information from the statistical properties of digital images of sediment. *Sedimentology*, 2008, 56, 421–438. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2008.00977.x>
- Buscombe, D., Rubin D. M., Warrick J. A. (2010). A universal approximation of grain size from images of noncohesive sediment. *Journal of Geophysical Research*, VOL. 115, F02015. doi:10.1029/2009JF001477, 2010.
- Buscombe, D. (2013). Transferable wavelet method for grain-size distribution from images of sediment surfaces and thin sections, and other natural granular patterns. *SEDIMENTOLOGY (2013)* 60, 1709-1732. doi: 10.1111/sed.12049.
- Camenen, B., Jaballah, M., Geay, T., Belleudy, P., Laronne, J. B., and Laskowski, J. P. (2012). Tentative measurements of bedload transport in an energetic alpine gravel bed river. *River Flow 2012*, Taylor & Francis Group, London, 379–386, 2012.
- Carey, W.P. (1985). Variability in measured bedload-transport rates. *Water Resources Bulletin* 21 (1), 39–48.
- Childers, D. (1999). Field comparisons of six pressure - difference bedload samplers in high - energy flow. *U.S. Geol. Surv. Water Resour. Invest. Rep.*, 92 - 4068, 59 pp.
- Cheng Z., Liu H. (2015). Digital grain-size analysis based on autocorrelation algorithm. *Sedimentary Geology*, 2015, 327, 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.07.008>.
- Davies, T., McSaveney, M. (2011). Bedload sediment flux and flood risk management in New Zealand. *Journal of Hydrology: New Zealand*, 50(1).
- Descloux, S., Datry, T., Marmonier, P. (2013). Benthic and hyporheic invertebrate assemblages along a gradient of increasing streambed colmatation by fine sediment. *Aquatic Sci.* 75 (4): 493-507. <https://doi.org/10.1007/s00027-013-0295-6>.
- Detert, M., Weitbrecht, V. (2012). Automatic object detection to analyze the geometry of gravel grains - A free stand-alone tool. *River Flow 2012 Conference – Murillo (Ed.)*.
- Digumarti, S. T., Chaurasia, G., Taneja, A., Siegwart, R., Thomas, A., Beardsley, P. (2016). Underwater 3D capture using a low-cost commercial depth camera. *Proc. IEEE Winter Conf. Appl. Comput. Vis. (WACV) pp. 1-9*.
- Ehrenberger, R. (1931). Direkte Geschiebemessungen an der Donau bei Wien und deren bisherige Ergebnisse. *Die Wasserwirtschaft*, 34: 581–589.
- Emmett, W.W. (1980). A field calibration of the sediment-trapping characteristics of the Helley-Smith bedload sampler. *USGS Professional Paper*, 1139, U.S. Govt. Print. Off.
- FEMA - Federal Emergency Management (2016). Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping. General Hydraulics Considerations. U.S.
- Fleit, G., Baranya, S. (2019). An improved particle image velocimetry method for efficient flow analyses. *Flow measurement and instrumentation* 69 – August 2019. doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2019.101619

- Furukawa, Y., Ponce, J. (2010). Accurate dense, and robust multiview stereopsis. *IEEE, Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 32: 1362 – 1376.
- Healey, K. M., Cox, A. L., Hanes, D. M., Chambers, L. G. (2015). State of the practice of sediment management in reservoirs: Minimizing sedimentation and removing deposits. *Proceedings of the 5th Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference and the 10th Federal Interagency Sedimentation Conference, April 19-23, 2015*.
- Károlyi, Z. (1947). Kísérletek a hordalékfogóval. *Vízügyi Közlemények*, 29. évf., pp. 100-107.
- Jeeva, S., Sivabalakrishnan, M. (2015). Survey on background modeling and foreground detection for real time video surveillance. *Procedia Computer Science* 50 (2015) 566 – 571. *ISBCC'15*. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.085>
- Jordt, A. (2014). Underwater 3D reconstruction based on physical models for refraction and underwater light propagation. *Ph.D. dissertation, Dept. Faculty Eng., Kiel Univ., Germany*
- Jordt, A., Köser, K., Koch, R. (2016). Refractive 3D reconstruction on underwater images. *Methods Oceanography*, vols. 15-16, pp. 90-113.
- Kondolf, G. M., Gao, Y., Annandale, G. W., Morris, G. L., Jiang, E., Zhang, J., Cao, Y., Carling, P., Fu, K., Guo, Q., Hotchkiss, R., Peteuil, Ch., Sumi, T., Wang, H-W., Wang Z., Wei, Z., Wu, B., Wu. C., Yang, C. T. (2014). Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experience from five continents. *Earth's Future*. 2:5, 256-280. doi: 10.1002/2013EF000184.
- Kovács, Gy. (1972). A szivárgás hidraulikája. Akadémia kiadó, Budapest.
- Micheletti, N., Chandler J., H., Lane, S., N. (2014). Investigating the geomorphological potential of freely available and accessible structure-from-motion photogrammetry using a smartphone. *Earth Surface Processes and Landforms*. doi: 10.1002/esp.3648.
- Micheletti, N., Chandler, J., H., Lane, S., N. (2015). Structure from Motion (SfM) Photogrammetry. *Geomorphological Techniques, Chap. 2, Sec. 2.2 (2015)*. *British Society for Geomorphology*.
- Morris, G. L., Fan, J. (1998). Reservoir sedimentation handbook: Design and management of dams, reservoirs and watersheds of sustainable use. *Könyv. McGraw-Hill Book Co. Kiadó*.
- Rákóczi L. (1965). Radioaktív izotópok a hidraulikai és vízgazdálkodási kutatásban. *VITUKI Vízügyi és Műszaki Tájékoztató Iroda, Budapest*.
- Rákóczi L. (1971). Tapasztalatok az empirikus és fél-empirikus görgetett hordalékhozam összefüggésekkel kapcsolatban. *Hidrológiai Közöny, 51. évf., 8-9. szám, pp. 402-411*.
- Rákóczi L. (1972). Nukleáris mérési módszerek a hidrológiában. *Nemzetközi hidrológia továbbképző tanfolyam – kézikönyv, VITUKI, Budapest*.
- Rákóczi, L. (1979). Mederanyag-minták információértelmezése és hasznosítása a folyószabályozásban. *Magyar Hidrológiai Társaság Országos vándorgyűlésének kiadványa, Keszthely*.
- Rákóczi, L., Szekeres, J. (2003). A görgetett hordalék mintavétel felülvizsgálata víz alatti video segítségével. *Hidrológiai Közöny, 83. évf. 3. szám*.
- Rice, S., Church, M. (1998). Grain size along two gravel-bed rivers: statistical variation, spatial pattern and sedimentary links. *Earth Surf. Process. Landf.* 23,345–363.
- Sear, D. S., Frostick, L. B., Rollingson, G., Lisle, T. E. (2008). The Significance and Mechanics of Fine-sediment Infiltration and Accumulation in Gravel Spawning Beds. *American Fisheries Society Symposium* 65.
- Shen, H. W. (1999). Flushing sediment through reservoirs. *Journal of Hydraulic Research*, 37:6, 743-757. doi: 10.1080/00221689909498509.
- Takemura, Y., Fukuoka, S. (2013). Effects of channel shape on propagation characteristics of flood flows through a valley. *Journal of Flood Risk Management*, Volume 7, Issue 2, June 2014, Pages 152-158. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12035>
- Thorne, P. D., Bell, P. S. (2009). Acoustic Measurement of Near-Bed Sediment Transport Processes. *Encyclopedia of Ocean Sciences (Second Edition)*, Pages 38-51. <https://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00736-0>
- Van Rijn, L. C., Gaweesh, M. T. K. (1992). New total sediment- load sampler. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(12), 1686–1691.
- Vericat, D., Church, M., Batalla, R.J. (2006). Bed load bias: comparison of measurements obtained using two (76 and 152 mm) Helley–Smith samplers in a gravel-bed river. *Water Resour. Res.* W01402. <http://dx.doi.org/10.1029/2005WR004025>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology, Volume 179, 15 December 2012, Pages 300-314*. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
- White, R. (2001). Evacuation of sediments from reservoirs. London. Thomas Telford Kiadó.
- Zsugyel, M., Szabó, G. K., Kiss, M. Z., Józsa, J., Ci-raolo, G., Nasello, C., Napoli, E., Tél, T. (2012). Detecting the chaotic nature of advection in complex river flows. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 56(1), 97-106. <https://doi.org/10.3311/pp.ci.2012-1.11>

A SZERZŐK

ERMILOV ALEXANDER ANATOL Okleveles építőmérnök, doktorandusz a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékén. Doktori kutatásának témája a folyami áramlás és a mederfenék kölcsönhatásának vizsgálata. 2015-ben TDK II. helyezés a „Balaton székelte vízcsere folyamatainak numerikus modell alapú vizsgálata” című dolgozattal, majd ezen dolgozattal I. helyezés a Magyar Hidrológiai Társaság Lászlóffy Woldemár pályázatán. MSc diplomamunkáját a Norwegian University of Science and Technology-n írta meg, 2017-ben.

BARANYA SÁNDOR Építőmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte 2003-ban, PhD fokozatát ugyanitt 2010-ben. Jelenleg a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének egyetemi docense. A BME mellett vendégkutatóként egy-egy évet töltött a norvégiai NTNU egyetemen (2011) és az egyesült államokbeli University of Iowa-n (2014). Kutatási területe folyók medermorfológiai, áramlástan és hordalékvándorlási vizsgálata terepi eljárásokkal és számítógépes modellezéssel. Elnyerte a Magyar Állami Eötvös Ösztöndíjat, Korányi Ösztöndíjat, Bolyai János kutatási ösztöndíjat, a BME-n Rektori dicséretben, „TDK Munkáért” oktatói emléklapokban és Pro Progressio Oktatói TDK díjban részesült. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2003 óta tagja, 2015-ben Vitális Sándor szakirodalmi nívódíjban részesült.

FLEIT GÁBOR Okleveles építőmérnök, doktorandusz a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékén. Doktori kutatásának témája a folyami élőhely-hidraulikai mérési és modellezési módszertanok fejlesztése.

TÖRÖK GERGELY TIHAMÉR Építőmérnöki oklevelét 2012-ben, PhD fokozatát 2018-ban szerezte meg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Jelenleg az MTA-BME Vízgazdálkodási Kutatócsoport tudományos munkatársa. Kutatási területe a vegyes szemösszetételű folyómedrek morfordinamikai folyamatainak vizsgálata. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2010 óta tagja.

A videó alapú vízsebességmérés alapjai, és annak alkalmazhatósága jégzajlásos folyószakaszon

Kerék Gábor*

*Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Győr. (E-mail: kerek.gabor@eduvizig.hu)

Kivonat

A videó alapú sebességelemzés egy újszerű, kísérleti eljárás vízfolyások felszíni vízsebességének meghatározására, becslésére. Az eljárás hatékony lehet olyan terepi adatgyűjtésekhez, amikor más mérési eljárás nem alkalmazható, pl. villámárvizek elemzése, hosszabb vízfolyás-szakaszok sebességviszonyainak feltárása, nehezen megközelíthető monitoring-helyek mérése. A dolgozat első részében áttekintem a videó alapú sebességelemzés (LSPIV - Large-Scale Particle Image Velocimetry – nagyfelbontású részecskemozgáson alapuló képalapú sebességelemzés) elméleti alapjait, majd két numerikus módszer ismertetésével és alkalmazásával az LSPIV sebesség-eloszlás alapján becslést teszek a vízsebesség keresztmetszvény-menti eloszlására, valamint a szállított vízhozamra vonatkozóan. Végezetül a módszer gyakorlati alkalmazhatóságára vonatkozó javaslatokat teszek.

Kulcsszavak

LSPIV, villámárvíz, képelemzés, vízsebességmérés, hidraulika, numerikus módszerek, jégzajlás, vízhozammérés.

Basics of video-based water velocity measurements and its applicability on ice-drifting river sections

Abstract

Video-based velocity analysis is a novel, experimental procedure onto the definition of the surface water velocity of water flows. The method may be effective to ground data collections, when any other measurement procedure inapplicable, i.e. flash-flood events, analysis of longer water flow sections, monitoring places which can be difficult to approach. In this paper I take an overview of the theoretical bases of the video-based velocity analysis (LSPIV), then, according to the application of two numerical methods I take an estimate onto the cross-sectional distribution of the water velocity and the discharge using the measured LSPIV velocities. At last I make proposals concerning the practical adaptability of the method.

Keywords

LSPIV, flash-flood, image analysis, water velocity measurement, hydraulics, numeric methods, ice-drifting, water discharge measurement.

ANYAG ÉS MÓDSZER – A VIDEÓELEMZÉSI ELJÁRÁS ELMÉLETI ALAPJAI

Az LSPIV eljárással (nagyfelbontású részecskemozgáson alapuló képalapú sebességelemzés, magyar elnevezése egyelőre nem terjedt el) indirekt módon elemezhetjük egy vízfolyás felszíni sebességviszonyait. Szemben az általánosan elterjedt hidrometriai gyakorlattal, az eljárás nem igényli mechanikus vagy akusztikus elven működő, az áramló vízzel fizikai kapcsolatba kerülő eszköz használatát.

A hagyományos vízsebesség- és áramlásmérő eszközök használhatóságát a mérési körülmények erősen befolyásolják. Villámárvizek vízsebességének mérésére, vagy zajló jéggel borított vízfelszín esetén az élet- és vagyonsbiztonság okán korlátozottan alkalmasak a használatra. Emiatt az ilyen hidrológiai események hidrológiai – hidraulikai paraméterei rendszerint csak becslésekkel, közelítő számításokkal határozhatók meg. Elsősorban az ilyen, más módszerrel nehezen mérhető helyzetekre jelenthet közelítő megoldást az LSPIV eljárás.

Az eljárás alapja, hogy a vízfolyás egy meghatározott szakaszáról videofelvételt készítünk, majd ennek egy célszerű előfeldolgozásával meghatározott Δt időközű képsorozatot állítunk elő. A képsorozaton egy feldolgozó szoftver a felszínen úszó jelzőanyag nyomvonalának lekövetésével pillanatnyi sebességmezőt határoz meg. (Muste és társai 2008) A felvételt feltétlenül

olyan vízfolyásszakaszból kell készíteni, ahol a felszínen megfelelő mennyiségű jelzőanyag (falevél, turbulencia-keltette hab, apró nádtörmelék, egyéb uszadék, jég) úszik, mivel ezek hiánya megghiúsítja a sebességmező leképezését. Mivel a videó rendszerint külső nézőpontból készül, a videofelvételből kinyert képeket egy 2D ortogonális koordináta-rendszerbe szükséges transzformálni. Ez az eljárás az ortorektifikáció. Az eljárás alapja, az hogy egyes képpárokon illesztőpontokat jelölünk ki, amelyek terepi koordináta-különbsége földrajzi koordináta-rendszerben ismert, vagy a fizikai távolságkomponenseik (É-K) ismertek. A terepi és képi pontok felhasználásával a két viszonyítási rendszer között a következő, hagyományos fotogrammetriai összefüggéssel határozhatók meg a koordináták (Mikhail és Ackermann, 1976, Fujita és társai 1998):

$$x = \frac{A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4}{C_1X + C_2Y + C_3Z + 1} \quad (1)$$

$$y = \frac{B_1X + B_2Y + B_3Z + B_4}{C_1X + C_2Y + C_3Z + 1} \quad (2)$$

ahol

x, y – az illesztőpontok koordinátái a kép koordinátarendszerében,

X, Y, Z – az illesztőpontok koordinátái a valós térben (pl. EOTR - Egységes Országos térképrendszer),

$A_1 \dots C_3$ – transzformációs együtthatók a terepi illesztőpontok felhasználásával.

A terepi illesztőpontok meghatározásának számos lehetősége kínálkozik, pl. GNSS technológián alapuló felmérés, vagy pl. könnyen azonosítható tereptárgyak térképi azonosítása. (A GNSS Global Navigational Satellite Systems – Globális helymeghatározó rendszer, mely magában foglalja az USA GPS, Oroszország GLONASSZ, az Európai Unió GALILEO és Kína COMPASS elnevezésű navigációs rendszereit.)

Az LSPIV eljárás a vízfolyás felszíni vízsebességét az egyes képpárok megtalálható mintázatok egyezőségének elemzésével, az ún. hasonlósági indexszel határozza meg. Az egyezőséget a képsorozat első képén meghatározott lekérdezősi területen (Interrogation Area – [továbbiakban IA]) végzi el a következő kép ugyanazon területén a szintén meghatározott méretű keresési területre (Searching Area – [továbbiakban: SA]) vonatkoztatva. A hasonlósági index maximális értéke adja a jelzőanyag egy mintájára vonatkoztatott legvalószínűbb elmozdulását két egymást követő képkocka között. Az ortorektifikáció során az elmozdulás mértéke meghatározott, a két képkocka \square t időközönként ismeretében pedig a felszíni vízsebesség számítható (Muste és társai 2008).

Az elemzések során alkalmazott eljárás az említett hasonlósági indexet a következő keresztkorrelációs algoritmus határozza meg:

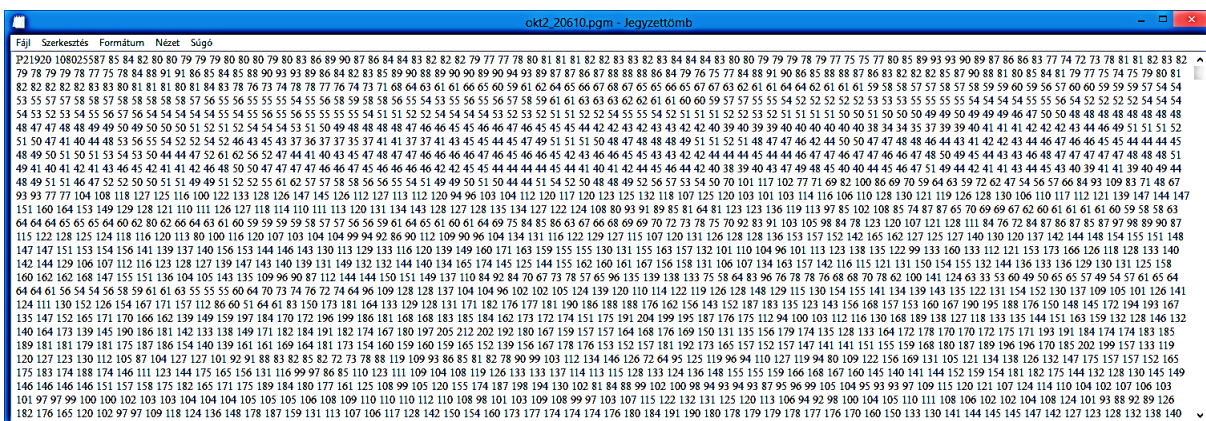
$$R_{ab} = \frac{\sum_{x=1}^{MX} \sum_{y=1}^{MY} (a_{xy} - \bar{a}_{xy})(b_{xy} - \bar{b}_{xy})}{\sqrt{\sum_{x=1}^{MX} \sum_{y=1}^{MY} (a_{xy} - \bar{a}_{xy})^2 \sum_{x=1}^{MX} \sum_{y=1}^{MY} (b_{xy} - \bar{b}_{xy})^2}} \quad (3)$$

A keresztkorreláció az első képkocka IA és az azt követő képkocka SA-n belüli IA területei között kerül meghatározásra. Az összefüggésben:
 MX, MY – Az IA terület mérete,
 a_{xy} , b_{xy} – A 8 bites szürkeskála megváltozása (0...255) a Δt időközű képkockák az egyes IA területeken; ezek felülvonással jelzett értékei pedig az IA-ra vonatkoztatott átlagértékei.

Az eljárás előnye, hogy kis felbontású kamerával készített videofelvételből is képes a sebességviszonyok becslésére (Muste és társai 2008). Az eljárás végeredményeként a vizsgált terület pillanatnyi felszíni sebességmezője állítható elő. Az LSPIV vektormező ezek után további elemzések elvégzését teszi lehetővé, alkalmas a felszíni átlagsebesség meghatározására, az áramlás irányának és őrvenyességének becslésére; a mederszelvény - akár utólagos - felvételével pedig a szállított vízhozam meghatározására is (Muste és társai 2008).

A videók (vagyis meghatározott mintavételi idővel készült képsorozatok) a FUDAA-LSPIV nevű ingyenesen hozzáférhető szoftver segítségével elemezhetők, melyet kifejezetten az LSPIV alapú sebesség-vektormező meghatározásának támogatásának céljából fejlesztettek. A szoftver francia fejlesztés, a DeltaCAD Co. fejlesztési EDF (Électricité de France) és az Irstea (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture - Nemzeti Környezeti és Mezőgazdasági Kutatóintézet) megbízásából. A program szabad hozzáférésű, grafikus felhasználói felülete Java Runtime Environment fejlesztői környezetben készült.

A program bemeneti formátumként .pgm kiterjesztésű, 8 bites szürkeskálás képeket elemel, az ortorektifikáció elvégzését követően e képsorozat kiértékelésével hajtja végre a keresztkorrelációs elemzést és sebességmező-számítást. A bemeneti formátum tulajdonképpen egy speciális ASCII formátumú szövegfájl, mely az eredeti, 24 bites kép minden pixelét 8 bites szürkeskálán (0 ... 255 közötti értékekkel) képezi le (Jodeau, Hauet és Le Coz 2013). A pgm kép tetszőleges hosszúságú és felbontású videófájlból előállítható, szintén ingyenes hozzáférésű konverter programok használatával. A bemeneti képsorozat egy kockájának mintája az 1. ábrán látható.



1. ábra. A FUDAA-LSPIV bemeneti formátuma (.pgm)

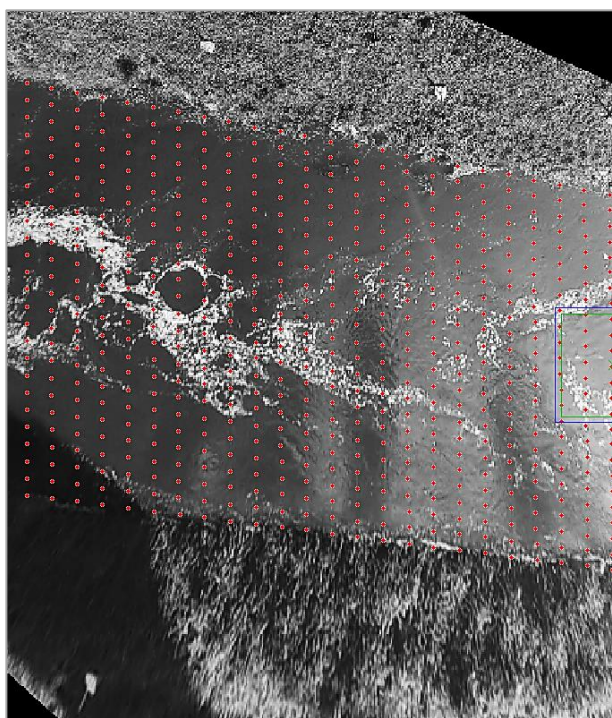
Figure 1. FUDAA-LSPIV input format (.pgm)

A FUDAA-LSPIV a képsorozat ortogonális transzformációját is elvégzi, a szükséges illesztőpontok koordinátáit relatív É-K koordináta-rendszerben adhatók meg, és szárazhatnak akár GNSS RTK (valós idejű műholdas helymeghatározás) mérésekből, vagy Google Earth koordináta-transzformációból. Egy képsorozat legalább 6 db illesztőpont kijelölése szükséges a 2D ortorektifikáció vég-

rehajtásához. Az ortorektifikáció statikus helyzetű referenciapontot eseten elvégezhető a teljes képsorozaton egy lépésben, vagy mozgó kamera esetén akár képkockánként is.

A pillanatnyi felszíni sebességmező meghatározásának alapja, hogy a 2D képsorozatban a jelzőanyag mozgását a lehető legjobb korreláció mellett követni tudjuk. Az eljárás legfontosabb lépése, hogy a FUDAA-LSPIV programban

meghatározzuk a már tárgyalt IA és SA lekérdezési mezők pixelben meghatározott méretét. Ezek az R_{ab} hasonlósági index meghatározásának alapparaméterei. E paraméterek felvétele körültekintést igényel, mivel a túlságosan kis értékre megválasztott IA a felszíni jelzőanyag fizikai mérete, és annak két képkocka közötti esetleges megváltozása az elmozdulás azonosítását elnagyolja, a túlságosan magas IA pedig a program futásidejének drasztikus megnövekedésével jár, viszont a végeredmény nem lesz feltétlenül megbízhatóbb. Az elemzés megkezdése előtt az említett paramétereken túl az észlelési terület diszkretizálása szükséges, ami az ortogonális képsorozatban egy fix osztásközű rácshálót jelent. A rácspontok kiosztására a 2. ábrán látható példa.



2. ábra. Számítási rácsháló definiálása, FUDAA-LSPIV
Figure 2. Defining computational grid in FUDAA-LSPIV

A sebességmező meghatározása előtt célszerű érzékenység-vizsgálatot végezni, ami alkalmas egyrészt a szükséges „mérési” idő meghatározására, másrészt a képkockák mintavételi frekvenciájának és az IA, SA területek optimális méretének kiválasztására. Több teszt során vált bizonyossá, hogy elnagyolt képmintázási frekvencia egyes, gyorsan változó mintázatu jelzőanyagok esetében

$$0 = -\frac{1}{\rho} * \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(v \frac{\partial u}{\partial z} - \overline{u' * w'} \right) = \frac{1}{\rho} * \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho} * \frac{\partial \tau_v}{\partial z} + \frac{1}{\rho} * \frac{\partial \tau_t}{\partial z} \quad (4)$$

ahol szétválasztjuk a viszkozitásból, illetve a turbulenciából eredő nyírófeszültségeket, és amiből a

$$0 = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_e}{\partial z} \quad (5)$$

egyszerű, kétváltozós differenciálegyenletet kapjuk.

Mivel az egyenletben a nyomás-gradiens csak x függvénye, az eredő nyírófeszültség pedig csak z-é, a megoldás létezéséhez mindkettőjük konstans kell, hogy legyen. Következésképpen maguk a függvények lineárisak x, ill. z szerint.

azok folyamatos detektálásához nem elegendő, mivel két egymást követő képkocka között az áramlás turbulenciája olyan mértékben átrendezi a felszíni jelzőanyagot, hogy a helyszínen tapasztalt sebességviszonyokat az eljárás nem képes még közelítően sem reprodukálni. A képsorozat elemzésének végeredménye a rácspontokra meghatározott felszíni sebességmező lesz. Ennek alapján kiegészítő numerikus módszerek alkalmazásával közelítő számítást végezhetünk a szállított vízhozam meghatározásával kapcsolatban, amely a hidrológiai - hidrometriai gyakorlat egyik legfontosabb mérőszáma.

SEBESSÉGPROFIL-BECSLÉS, VÍZHOZAMOK MEGHATÁROZÁSA

A számított LSPIV sebességmező gyakorlati haszna akkor kamatoztatható, amennyiben a mérési szelvény vízhozamát kielégítő pontossággal meg tudjuk határozni. Ehhez feltétlenül ismernünk kell a nedvesített kereszt-szelvény geometriáját, a víz szintjét a videófelvétel készítésekor, valamint a sebességprofil mélység menti eloszlását. Utóbihoz tapasztalati eljárások nyújtanak támogatást.

Mint hogy az ilyen jellegű feladatok rendszerint szélsőséges vízjárású események hidraulikai jellemzőinek utólagos reprodukálásakor adódhatnak, a medergeometria és a vízszintek utólagos meghatározása (pl. víznyomokból) jelen kor technikai színvonalán rutinjellegű tevékenység. A következőkben ismertetek két numerikus hidraulikai módszert, amelyek segítségével az LSPIV felszíni sebességmező egy kitüntetett keresztirányú metszékében meghatározom a sebességprofil szelvény mentén feltételezett alakját.

A sebességprofil származtatása a turbulens határreteg-elmélet felhasználásával

A sebességprofil származtatásának általánosan alkalmazott módszere az ún. turbulens faltörvény figyelembevételével számított logaritmikus sebesség-eloszlás. A turbulens határreteg-elmélet hidromechanikai levezetését a következőkben ismertetem (Józsa 2011).

Sík perem (pl. fal, mederfenék) mentén azt tekintjük teljesen kifejlesztett áramlási állapotnak, ha a sebesség már nem változik sem időben, sem a perem mentén (legyen az áramlásnak ez az x iránya), pusztán a peremre merőleges irányban (ami meg legyen a z-irány). Erre az esetre az egyszerűsített Reynolds egyenlet (elhagyva a feltételekből következően zérus deriváltakat) a következő (Józsa 2011):

Fenti egyszerűsítések mellett a következőkben a gyakran előforduló, ún. hidraulikailag érdes perem esetét vizsgáljuk. A viszkozitásból eredő nyírófeszültség a turbulenshez képest általában elhanyagolható nagyságú, és különösen az érdes perem esetén.

Tekintsük az egyszerűsítés után megmaradt egyetlen, így már indexelést sem igénylő

$$\tau = -\rho * \overline{u' * w'} \quad (6)$$

turbulens nyírófeszültséget. Alkalmazzuk továbbá az l , ún. keveredési hossz fogalmát (*Prandtl 1925*), ami az a távolság, amin a sebesség u' mértékű változása karakterisztikusan bekövetkezhet, vagyis

$$u = U(z) + u' = U(z + l) \quad (7)$$

amiből

$$u' = U(z + l) - U(z) \quad (8)$$

Utóbbi egyenletet z mentén Taylor-sorba fejtve, és pusztán az első két tagot megtartva

$$U(z + l) = U(z) + \frac{\partial U}{\partial z} * l + MFT \text{ és } MRD \quad (9)$$

vagyis

$$u' = U(z) + \frac{\partial U}{\partial z} * l - U(z) = \frac{\partial U}{\partial z} l \quad (10)$$

Ezt behelyettesítve a nyírófeszültség képletébe, és alkalmazva az időbeli átlagolás szabályait:

$$\tau = -\rho * \overline{\frac{\partial U}{\partial z} * l * w'} = -\rho * \overline{l * w'} * \frac{\partial U}{\partial z} \quad (11)$$

$sign(\tau) = sign\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)$, $sign(w') = -sign(l)$, illetve izotrópiát feltételezve $o(u')=o(w')$, vagyis

az $u' = \frac{\partial U}{\partial z} * l$ és az $u' = -w'$ összefüggésekből következően $w' = -\frac{\partial U}{\partial z} * l$.

Ezt a nyírófeszültség legutóbbi képletébe behelyettesítve, és a sűrűséggel osztva a

$$\frac{\tau}{\rho} = -\overline{u' * w'} = l^2 * \left| \frac{\partial U}{\partial z} \right| * \frac{\partial U}{\partial z} \quad (12)$$

összefüggéshez jutunk, a nyírófeszültséget lényegében a keveredési hossz és az időátlagolt sebesség gradiensek négyzeteti szorzataként definiálva.

Bevezetjük az ún. csúsztatósebesség fogalmát az alábbiak szerint:

$$u_* = \sqrt{\left| \frac{\tau}{\rho} \right|} = \sqrt{\left| \overline{u' * w'} \right|} = l * \left| \frac{\partial U}{\partial z} \right| \quad (13)$$

amiből

$$\tau = \rho * u_*^2 \text{ és } \left| \frac{\partial U}{\partial z} \right| = \frac{u_*}{l} \quad (14)$$

Bevezetjük továbbá azt a közelítést, hogy a keveredési hossz, mint egyfajta szabad úthossz, lineárisan nő a peremtől való távolsággal, vagyis

$$l = \kappa * z \quad (15)$$

ahol κ az ún. Kármán-féle állandó, értéke jó pontossággal 0,4.

Ezt felhasználva, a sebesség-gradiensre a

$$\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{u_*}{\kappa * z} \quad (16)$$

elsőrendű differenciálegyenlethez jutunk, amit átrendezve (szeparálva a változókat) a

$$\partial U = \frac{u_*}{\kappa} * \frac{\partial z}{z} \quad (17)$$

egyenletet kapjuk, amelynek megoldása

$$U(z) = \frac{u_*}{\kappa} * (\ln z + C) \quad (18)$$

A peremre vonatkozóan a z_0 ún. érdesség-magasságot, vagyis az érdes peremtől számított azon távolságot, ahol az U sebesség még épp zérusnak tekinthető, bevezetve, és ezt, mint peremfeltételt alkalmazva

$$0 = \frac{u_*}{\kappa} * (\ln z_0 + C) \quad (19)$$

a turbulens határreteg sebességprofiljának analitikus megoldása az

$$U(z) = \frac{u_*}{\kappa} * \ln \frac{z}{z_0} \quad (20)$$

alakban adódik.

A formula felhasználásával az LSPIV sebességmező egy szelvényének sebességprofilja meghatározható. Az u_* fenékcúsztató sebességre a

$$u_* = \sqrt{g * R * I} \quad (21)$$

összefüggés alapján tettem becslést, ahol g = nehézségi gyorsulás (9,81 m/s²), R = hidraulikus sugár (az ADCP mérések által a medergeometriából meghatározható) és I = fenékesés.

A határreteg-elmélet és az LSPIV sebességek felhasználásával a kiválasztott keresztzelvény egyes függvényeinek mélységátlagolt sebességei származtathatók a turbulens határreteg sebességprofil analitikus megoldási formulájának felhasználásával. Az ún. csúsztatósebesség a medergeometria ismeretében a z_0 érdességmagasság becslésével a

$$\frac{v_{LSPIV} * \kappa}{\ln \frac{H}{z_0}} = u_* \quad (22)$$

összefüggéssel határozható meg. Ez alapján az egyes függvények mélységátlagolt sebességei az

$$U_{\text{átl}} = \frac{u_*}{\kappa} * \left[-\ln \left(\frac{z_0}{H} \right) - 1 \right] \quad (23)$$

formulával számíthatók.

A sebességprofil származtatása az LSPIV sebességből

A szóban forgó eljárást a beépített Doppler-elvű akusztikus vízsebességmérő szondák (H-ADCP) kalibrációjához alkalmazzák (*Huang 2014*).

A módszer célszerű átalakításával alkalmassá tehető az LSPIV sebességadatok alapján történő sebességprofil-becslésre. E módszer alkalmazását megelőzően rendelkezniük kell a medergeometriával.

A numerikus módszer alapján a keresztzelvény egyes függvényeinek pontbeli sebessége a következő összefüggéssel becsülhető:

$$v_{i,j} = \alpha_i * [\gamma * (h_{max} - h_{i,j})]^\beta \quad (24)$$

ahol

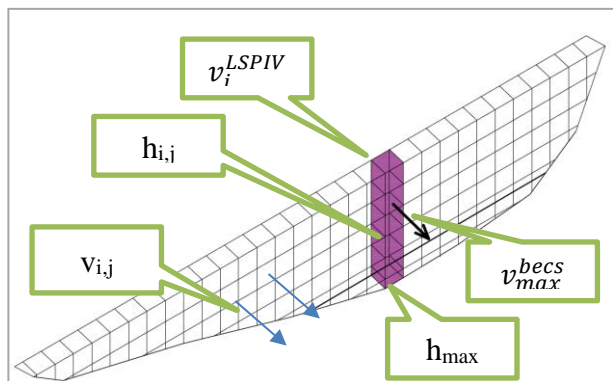
$$\alpha_i = \frac{v_i^{LSPIV}}{(h_i^{max})^\beta} \quad (25)$$

β - mederérdességre és az áramlási profil alakjára utaló együttható (1/6 ... 1/12),

$$\gamma = \frac{v_{max}^{becs}}{v_i^{LSPIV}} \quad (26)$$

($\gamma = 1.1 \dots 1.3$).

Az összefüggés egyes tényezőinek grafikus jelentéstartalma a 3. ábrán látható.



3. ábra. Függélymenti sebesség-eloszlás becslése
Figure 3. Velocity estimation along vertical profile

A numerikus módszert az LSPIV sebességmérés egy kitüntetett keresztmetszvényére alkalmazva, a szelvényterület ismeretében a vízhozam is számítható.

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta s * \Delta h * v_{i,j} \quad (27)$$

A β és γ paraméterek beállításával kalibrálható a sebességprofil alakja egy esetleges ADCP mérés sebességprofiljához. Az 1. számú táblázatban a vizsgált változatok összefoglalása látható az alkalmazott paraméterekkel. A β hatványkitevő és a γ együttható alkalmazott értékei, valamint a származtatott sebességprofil alakja az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat. Függélymenti sebesség-eloszlás paramétereinek becslése

Table 1. Parameter-estimation onto velocity distribution in vertical profiles

	β	γ	Sebességprofil
I	0	1	
II	1/6	1	
III	1/12	1.3	

Ezeket az eljárásokat több ízben tesztelték (Lükő 2015, Kerék 2015) az LSPIV technika szükséges adat- és információigényének megfelelő körülmények között, és valamennyi esetben kielégítő pontossággal lehetett a szelvény vízhozamát meghatározni az ADCP-vel

(Acoustic Doppler Current Profiler – Doppler-elvű áramlás- és vízhozammérő berendezés) elvégzett kontroll vízhozammérések eredményeihez képest.

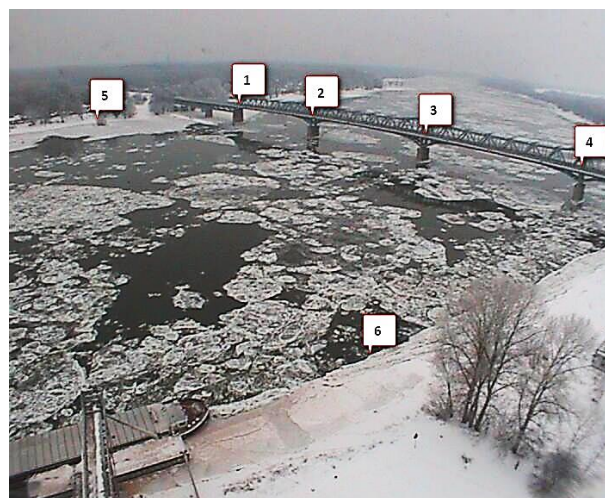
Joggal vetődhet fel azonban a kérdés, hogy amennyiben nem kifejezetten az LSPIV szükséges információigényének (illesztőpontok elhelyezése és bemérése, kamera megfelelő elhelyezése, megfelelő felbontású videófelvétel és előkészített képsorozat, pontos medergeometria, kontroll vízhozammérések stb.) megfelelő képsorozatot kell értékelnünk, akkor is megfelelő eredményeket tudunk-e a módszerek alkalmazásával produkálni. Erre vonatkozóan elvégeztem egy tesztet egy, a Dunán Bajánál rögzített videófelvétel rövid értékelésével.

JÉGZAJLÁSRÓL KÉSZÍTETT VIDEÓFELVÉTEL ELEMZÉSE

Az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság többek között a magyarországi alsó-Duna szakasz jégviszonyainak vizsgálata céljából Baján egy Duna-parti gabonasiló tetején webkamerát üzemeltet (Keve 2002, 2017). Az Igazgatóság rendelkezésemre bocsátott egy teljes napot (2012. február 11.) felőlelő, 30 s időközű képsorozatot, melyet egy intenzív dunai jégzajlás alkalmával rögzítettek.

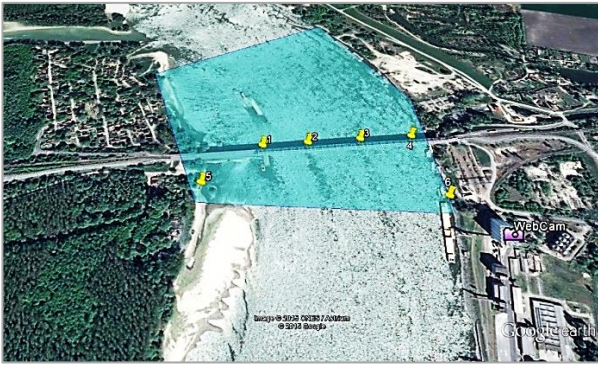
A rendelkezésemre bocsátott anyag tartalmazott még egy, más vízjárású állapotban felvett keresztmetszvényt a folyó szoban forgó szakaszáról. A célom az volt, hogy a képsorozat, és a keresztmetszvény felhasználásával meghatározzam a szállított vízhozamot.

Az első nehézséget természetesen a képsorozat ortorektifikációja jelentette, hiszen a képsorozaton bemért illesztőpontok nem találhatóak. A transzformációt a képeken látható bajai Duna-híd pilléreinek, valamint a partok mentén azonosítható két pont felhasználásával a Google Earth segítségével végeztem el. A képeken felhasznált pontokat, és azok Google Earth alatti megfeleltetését a 4. és 5. ábrák tartalmazzák.



4. ábra. A Duna Bajánál 2012. február 11-én; a transzformációhoz használt pontok

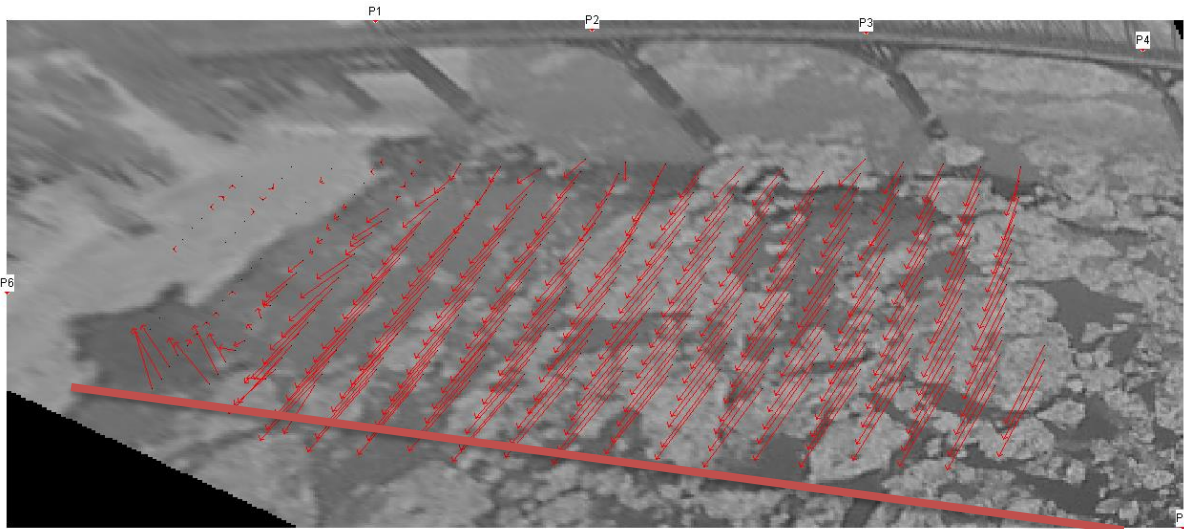
Figure 4. The Danube at Baja on 11 February 2012; the points used for transformation



5. ábra. A felvett terület és a felhasznált illesztőpontok
(Forrás: Google Earth)

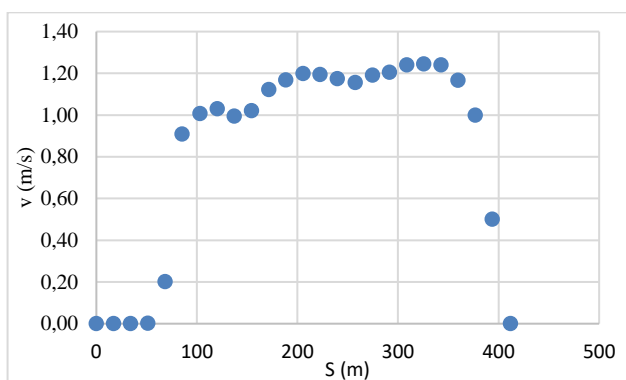
Figure 5. Ground reference points (Source: Google Earth)

A Google Earth által WGS84-ben közölt koordináták EOVT transzformációját a FÖMI EHT² programjával végeztem el. A pontok koordinátáit a FUDAA-LSPIV számára a korábbiakban ismertetett módon adtam meg. A felszíni sebességmező meghatározását IA=36 px és SA=20 px paraméterekkel, 25x25 m-es rácshálóra diskretizálva végeztem el a rendelkezésre álló képsorozat 100 db képén, ami a képek 30 s-os mintavételi idejét figyelembe véve mintegy 8 órás időbeni átlagolást jelent. Az eredmények szűrését szintén a korábbiakban alkalmazottak szerint végeztem, a R_{ab} hasonlósági index 0,6 feletti értékeinek figyelembevételével. Az ortorektifikált kép, és a számított sebességmező képe a 6. ábrán látható.



6. ábra. A Duna-Bajánál 2012. február 11-én; számított LSPIV sebességmező
Figure 6. The Danube at Baja on 11 February 2012; the calculated LSPIV velocity field

A sebességmezőn narancs vonallal jelölt metszék keresztirányú felszíni sebesség nagyságai a 7. ábrán láthatók.

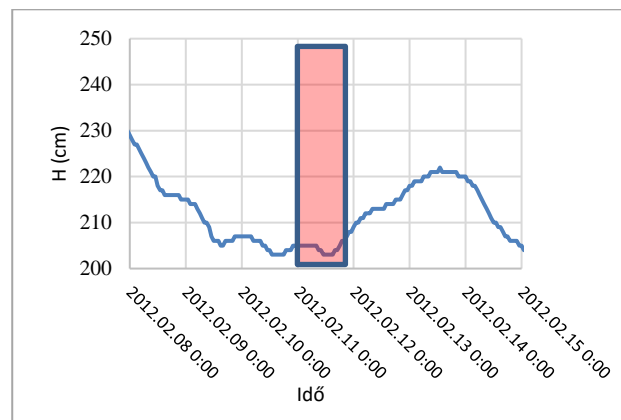


7. ábra. A Duna Bajánál 2012. február 11-én; keresztirányú sebesség-eloszlás

Figure 7. The Danube at Baja on 11 February 2012; velocity-distribution in the cross-section

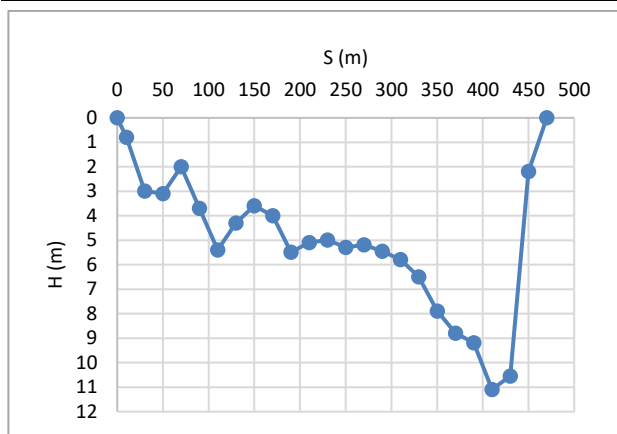
A Duna vízjárási adatai a vízügyi ágazatban általánosan alkalmazott SQL alapú országos adatbázisból (Magyar Hidrológiai Adatbázis – Operatív Hidrológiai Modul) le-

kérdezhetők, így a felvételek napjának ismeretében a napi átlagos vízszint meghatározható (8. ábra).



8. ábra. A vízállások a Dunán Bajánál 2012 februárjában
Figure 8. The Danube at Baja, Water levels in February 2012

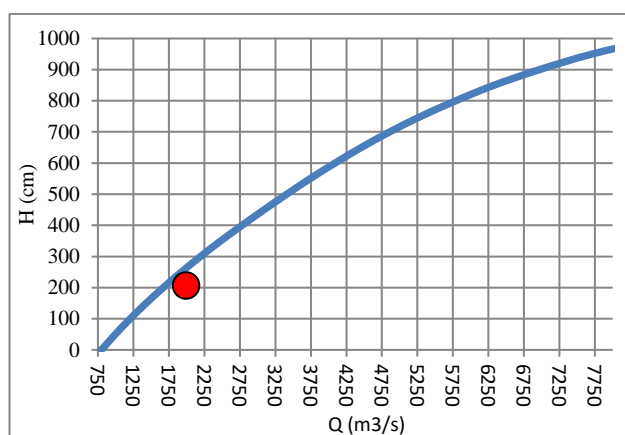
Látható, hogy a felvétel készítésekor (2012. február 11.) alig változó vízjárás volt a jellemző a Dunán Bajánál. A vízszint ismeretében és a korábbi keresztmetszvény adatainak felhasználásával meghatároztam a mérés közelítő nedvesített keresztmetszvényét (9. ábra).



9. ábra. A Duna közelítő keresztmetszévénye Bajánál az LSPIV adatok feldolgozásához ($H_{Baja}=205$ cm)

Figure 9. Estimated cross-section of Danube at Baja for LSPIV processing ($H_{Baja}=205$ cm)

Mindezek ismeretében a korábbiakban ismertetett III. sz. sebességprofil alkalmazásával határoztam meg a szállított vízhozamot, mivel a tapasztalatok alapján ezzel a közelítő profillal becsülhető legpontosabban egy természetes folyó függélymenti sebesség-eloszlása. Ezzel a módszerrel a szelvény szállított vízhozama 1994 m^3/s -ra adódik, amely a bajai vízmérce vízhozamgörbéjén ábrázolva a következő (10. ábra):



10. ábra. A Duna bajai szelvényének 2010. 01. 01. óta érvényes vízhozamgörbéje és az LSPIV alapján számított vízhozam (narancs színű pont)

Figure 10. Discharge rating curve valid since 01. 01. 2010 for the Danube section at Baja and the calculated LSPIV discharge (orange point)

Az LSPIV alapján számított-becsült vízhozam mintegy 15%-kal meghaladja a vízhozamgörbe alapján meghatározható vízhozamot, amely a vízügyi ágazatban általánosan elfogadott eltérést meghaladja ugyan, azonban figyelembe véve a számításához felhasznált információk bizonytalanságát, kielégítő egyezésnek mondható.

ÖSSZEFOGLALÓ ÉRTÉKELÉS, KÖVETKEZTETÉSEK

A bajai jégzajlásos videó gyorselemzésének egyik legfontosabb konklúziója, hogy geodéziai módszerekkel bemért illesztőpontok hiányában is elvégezhető a képsorozat ortorektifikációja, amennyiben a képeken egyértelműen azonosítható tereppontok találhatók.

Hasonlóan fontos következtetés, hogy a felszíni jelzőanyag minősége döntően befolyásolja az elemzés elvégezhetőségét. A korábbi, döntően kisvízfolyásokon elvégzett mérések feldolgozásakor szembevető volt, hogy az ott megfigyelt habosodás viszonylag gyorsan megváltozó mintázata már 1s-os képmintázási idővel sem adott értékelhető sebességmezőt, csak ennek jelentős sűrítésével lehetett reális eredményeket elérni. A Dunán a zajló jégtáblák ehhez képest egy lényegesen állandóbb mintázatot jelenítenek a folyó felszínén, ebben az esetben a 30 s-os képminta, és a viszonylag kicsi, 704x576 pixeles képfelbontás sem lehetetlenítette el a sebességmező meghatározását.

Dolgozatomban egy újszerű vízsebességmérési eljárás, az LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry) módszer alkalmazhatóságát vizsgáltam meg egy dunai jégzajlásos videó elemzésével.

A módszer egy indirekt vízsebességmérési eljárás, melynek alkalmazásával az áramló vízfelszínről készített videófelvétel alapján tehetünk számszerű becslést a víz felszíni sebességére, majd egy kézi számítással egyszerűen elvégezhető numerikus módszer alkalmazásával a keresztmetsvény sebesség-eloszlására vonatkozóan.

A dolgozatban két numerikus hidraulikai módszert ismertettem, melyek alkalmazásával megbecsülhető a sebességprofil mélységmenti eloszlása, és a szelvény pillanatnyi vízhozama is. A turbulens faltörvény egy elméletibb, míg a H-ADCP-k kalibrációs elvén alapuló módszer egy gyakorlatiasabb megközelítésben közelít ugyanazon probléma megoldása felé. Korábbi vizsgálatok alátámasztották, hogy mindkét módszer alkalmas a kitűzött cél elérésére.

Jelen korunk hidrometriai eszközei – különösen az akusztikus elvű sebesség- és áramlásmérők – magas technikai színvonalon megalkotott, a mindennapi használathoz robusztusan tervezett berendezések, melyek a korábbi – zömmel mechanikus elven működő – eszközök mérési hatékonyságát megsokszorozzák. Rendkívül széles vízjárás tartományban alkalmazhatók, gyakorlatilag a néhány $0,010$ m^3/s -tól a 10000 m^3/s nagyságrendig alkalmasak a vízhozam, és számos áramlási jellemző nagyfelbontású meghatározására. Joggal vetődhet fel tehát a kérdés, hogy ilyen technikai tudású eszközök birtokában hol vehető haszna egy alapvetően műszaki becslésen alapuló eljárásnak, az LSPIV-nek?

A folyókon jégzajlás alkalmával a vízhozammérés szűnetel, ugyanakkor az adatigény folyamatos. Megfelelően kalibrált LSPIV eljárásrenddel ez az igény biztonságosan kielégíthető. Túl ezen az utóbbi években hazánkban is megnőtt a villámárvíz-jellegű események száma. A vízügyi igazgatóságok hidrológiai szakcsoportjai részben kapacitáshiány, részben a villámárvizek rövid időtartama miatt ezen események hidrológiai meghatározásáról rendszerint „lemaradnak”. Sok esetben a teljes árhullám méretlenül vonul le, kis vízgyűjtőkön pedig rendszerint egyetlen vízrajzi mérőállomás sem működik, hogy az árhullámok csúcsvízhozamait utólag rekonstruáljuk. Az ilyen esetekre lehet hatékony eszköz a videó alapú eljárás, mivel az esemény közvetlen megörökítéséhez elegendő egy megfelelő helyről rögzített néhány 10 másodperces videófelvétel.

Közösségi médiafelületeken keresztül értékes adatok nyerhetők olyan vízgyűjtőkön lezajló hidrológiai helyzetekről, amelyek mérésére más módon nem nyílna lehetőség. Napjainkban óriási népszerűségnek örvendenek a közösségi hálózati (social networking) weboldalak, amelynek erejét az információáramlás azonnalisága és közvetlensége adja. A közösségi tartalommegosztással, a YouTube, Facebook, Twitter stb. csatornákon gyakorlatilag az eseményekkel egyidőben értesülhetünk azok megtörténtéről. Amennyiben bizonyos események (villámárvizek, haváriák stb.) megtörténtéről irányított csatornákon keresztül tudnánk információt nyerni, az LSPIV metódus alkalmazásával rögtön számszerű sebesség-információk állnának rendelkezésünkre egy eleddig nem mért eseményről. Rendkívül sikeresek azok a kezdeményezések, amelyek nem feltétlenül analitikus módszerekkel meghatározott, ellenben azonnal rendelkezésre bocsátott, nagytömegű információ alapján tájékoztatnak bizonyos eseményekről. Elég csak a Waze néven elérhető közösségi közlekedési információs portálra, vagy az *Időkép* nevű közösségi meteorológiai észlelő és előrejelző weboldalra gondolni. A közösségi alkalmazhatóságon kívül a vízügyi igazgatóságok vízkár-elhárítási védelmi szervezeteinek munkájába is beilleszthető a módszer. Itt a hazai kapacitáshiányra kell utalni, amelyet többnyire egyes hidrológiai események nagyságrendjéből és rendkívüliségéből fakadó többlet információigény generál. Az elmúlt években több ízben fordultak elő olyan események, melyek meghaladták az erre a célra (vízhozammérés) bevethető erőforrások mértékét. Az LSPIV-alapú sebességmérés felhasználhatóságának tudatában a módszer alkalmazása is reális lehetőségként adódik egy jövőbeni mértékadó hidrológiai esemény (pl. a 2010. május-júniusi ciklontevékenységből keletkezett árhullámok az észak-dunántúli kisvízfolyásokon) bekövetkezése esetén. A módszer sikeresen alkalmazható lehet olyan esetekben, amikor a műszeres mérés meghiúsul, vagy olyan mérési szelvényekben, ahova az adatigények prioritása miatt a műszeres mérőcsoportok nem jutnak el. Egy megfelelően szervezett mérési – adatgyűjtési kampány esetén, ahol a vízrajzi mérőcsoportokon kívül a védelmi szervezet több munkatársa is bevonásra kerül az adatgyűjtésbe, a hagyományos mérési eljárásokkal meghatározhatóhoz képest számottevően több számszerű vízrajzi információ állhat rendelkezésünkre egy-egy mértékadó meteorológiai esemény hidrológiai értékeléséhez. Természetesen az árhullámok levonulását követően valamennyi keresztzelvény és tetőző vízszint utólagos felmérését

szükséges elvégezni a vízhozamok meghatározhatósága érdekében.

A módszer előnye, hogy a mérés elvégzése tulajdonképpen egy rögzített helyzetű videófelvétel elkészítését jelent, ennek megfelelően bárki által elvégezhető feladat.

IRODALOMJEGYZÉK

Fujita, I., Muste, M., Kruger, A. (1998). Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic applications, *J. Hydraul. Res.*, 36(3), 397 – 414.

Ghitescu, M.A., Constatin, A.T. (2018). Studying the Influence of River Works on River Flow Regime with 1-D Hydraulic Modelling. *HIDRAULICA Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics (No3/2018)* 33-38, 21 p.

Huang H. (2014). River Discharge Monitoring Using Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler (H-ADCP). *Teledyne RD Instruments, Inc.*, 14020 Stowe Drive, Poway, CA. 92064, USA.

Józsa, J. (2011). Hidromorfológia. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Egyetemi jegyzet, Budapest.

Jodeau, M., Hauet, A. Le Coz, J. (2013). *FUDAA-LSPIV 1.3.2 User Guide*.

Kerék, G. (2015). Videó alapú vízhozammérések alkalmazhatósága kisvízfolyásokon *MSc Thesis, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*.

Keve, G. (2002). A jégmegfigyelések korszerűsítési lehetőségei. *Vízügyi Közlemények* 84. 3. pp. 358-378.

Keve, G. (2017). Space-time ice monitoring of the Hungarian Lower-Danube. *PERIODICA POLYTECHNICA-CIVIL ENGINEERING* 61. 1. pp. 27-38.

Lükő, G. (2015). Analysis of video-based discharge measurement method for streams. *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*.

Mikhail, E. M., Ackermann (1976). *F. Observation and Least Squares*, Dun-Donnelley, New York.

Muste, M., Fujita, I., Hauet, A. (2008). Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments. *Water Resources Research*, VOL. 44, W00D19, doi:10.1029/2008WR006950.

Prandtl, L. (1925). Über die ausgebildete Turbulenz, *Z. angew. Math. Mech.*, Vol. 5, pp. 136-139.

A SZERZŐ



KERÉK GÁBOR Okleveles építőmérnök (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem 2008.), Hidroinformatikai és Vízgazdálkodási Szakmérnök (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem 2016), az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Vízügyi és Vízügyi-gazdálkodási osztályának helyettes vezetője, hidrológiai szakértője. Jelenleg a Nemzeti Községi Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskolájának doktorandusza. Kutatási területe: árvízi előrejelzések fejlesztési lehetőségei a Rába vízgyűjtőjén. 2006 óta a Magyar Hidrológiai Társaság tagja, jelenleg a Győri területi szervezet elnökségi tagja.

A Tisza-tó öblítő csatornáinak környezetbiztonságra gyakorolt hatása

Katona Gábor

Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, 5000 Szolnok, Boldog Sándor István körút 4.
(E-mail: katona.gabor@kotivizig.hu)

Kivonat

Az Alföld egy részének vízgazdálkodásában kulcsszerepet játszó Tisza-tó mintegy fél évszázada tartó tervezési, építési és üzemeltetési folyamatnak középpontjában mindig a megfelelő mennyiségű és minőségű víz biztosítása állt. A víz mennyiségi szabályozása elsősorban a Kiskörei duzzasztómű feladata, azonban a víz használhatóságának, minőségének kérdéseiben – a tározó síkvidéki jellege okán – legnagyobb szerepe az öblítő csatornáknak van. A cikkben a szerző a létesítmény tervezése óta felmerült műszaki és vízminőségi problémákra született megoldások eredményeit értékeli, figyelembe véve a hasznosítási módokban azóta bekövetkezett változásokat és az üzemelés kapcsán szerzett tapasztalatokat. Kitér a létesítmény építését követő állapotokra, az eredeti tervekhez képest jóval alacsonyabb üzemvízszint következményeire és a problémák kezelésére kidolgozott megoldás értékelésére. Továbbá számba veszi az öblítő csatornák és tartozékainak egyéb, környezetbiztonságra gyakorolt hatásait.

Kulcsszavak

Tisza-tó, öblítő csatorna, vízminőség, feliszapolódás, szabályozó műtárgy.

The impact of flushing canals of Lake Tisza on environmental safety

Abstract

Lake Tisza, which has played a key role in the water management of the Great Plain, has always been on the focus of planning, construction and operation for about half a century on the provision of the right quantity and quality of water. The quantitative regulation of water is primarily the task of the Kisköre Dam, however, due to the lowland nature of the reservoir, the rinsing canals play the biggest role in the issues of water usability and quality. In this article, the author evaluates the results of the solutions to the technical and water quality problems that have arisen since the design of the facility, taking into account the changes in utilization methods since then and the experience gained during operation. It covers the conditions following the construction of the facility, the consequences of a much lower operating water level than originally planned, and an evaluation of the solution developed to deal with the problems. It also takes into account other environmental impacts of flushing channels and accessories.

Keywords

Lake Tisza, flushing canals, water quality, sedimentation, regulating structure.

BEVEZETÉS

Ahogy a biztonság kérdése általában, úgy a környezetbiztonság is felértékelődött napjainkban. A biztonság jelentése akár egyénenként is mást és mást jelent életkorától, lakóhelyétől, életkörülményeitől függően, ezért nagyon nehéz általános megfogalmazást adni rá. Korábban főként egy ország szuverenitása, önvédelmi képessége jelentette a biztonságot, mely a fogalom meghatározásokban is megjelent: „A biztonság általánosságban a fenyegetettség, illetve a veszély hiányát jelenti. A biztonság fogalma és tartalma folyamatos módosuláson megy át, kilépett a korábban meghatározónak minősülő külpolitikai (diplomáciai) és katonai keretből, s egyre több irányra, társadalmi szférára és kategóriára terjed ki, melyek helyi értéke időnként változik, így a katonai tényező a jelenben és jövőben is hátrább szorulhat. (Halász és Földi 2010).

A biztonság fogalma konkrét értelmet akkor nyerhet, ha jelzőt rendelünk hozzá, mint például a környezetbiztonság. A környezet, amely körül vesz bennünket, és amelyben élünk. A technika és a tudományok fejlődésének köszönhetően az elmúlt évszázadban elkezdjük megismerni a természeti rendszerek globális működését, és ennek köszönhetően létrejttek olyan tudományágak, mint a környezetvédelem és természetvédelem. Ezek már a környe-

zet legfontosabb elemeinek – föld, levegő, víz – továbbá az élőlények védelmét szolgálják. Itt meg kell említenünk az ökológiát, mint tudományágat, amely az élő és élettelen környezeti elemek kapcsolatát vizsgálja. Ezen tudományágak mentén a biztonság fogalomrendszere is kiszélesedett és megszületett a környezetbiztonság fogalma. „A környezetbiztonság a környezeti elemek védettségi állapotának mértékét fejezi ki az emberi tevékenységek, az ember által működtetett műszaki, technológiai folyamatokkal, rendszerekkel szemben...” (Halász és Földi 2010).

A környezetbiztonság tudományának vízzel, mint élettelen környezeti tényezővel foglalkozó ága a vízbiztonság. A vízbiztonság fogalmát ma Magyarországon az ivóvíz biztonságára, az elvárt minőségű és mennyiségű ivóvíz biztosítása kapcsán használjuk. (Ijjas 2018) A víz, így az ivóvíz mennyiségi és minőségi kérdése világszerte egyre égetőbb probléma. Mind több, a biztonság témájával kapcsolatos fórumon hallhatjuk: a jövő háborúit nagy valószínűséggel a vízért fogják vívni. A vízzel kapcsolatos konfliktusok, krízisek már évek óta fenyegetnek, mint például az Etióp-Szudán-Egyiptomi konfliktus a Níluson, vagy Izrael és szomszédai konfliktusa a Jordán folyón (Szalkai 2008). A klímaváltozás kapcsán igaz ez vízbázisaink, valamint a hozójuk kapcsolódó kritikus infrastruktúrák védelmére is.

Az alföldi térség környezetbiztonsága szempontjából is meghatározó a vizek vízminőségének megóvása, hosszú távú fenntartása, mely alapvető érdekünk kell, hogy legyen. Ezen vízbázisok egyik meghatározó létesítménye a Kiskörei tározó. Mivel méreténél, regionális helyzeténél fogva igen sok hasznosítási igénye jelentkezik, így kulcsszerepe van a Tisza-völgy vízgazdálkodásában. A Tisza-tó környezetbiztonsága és a környezetbiztonságra gyakorolt hatása több szinten értelmezhető. A létesítmény környezetbiztonságra gyakorolt hatásának vizsgálatakor elsősorban a vízbázis biztosítása vizsgálandó. A tervezéskori cél 312 000 ha öntöző terület számára mintegy 300 millió m³ víz betározása volt, melynek kiszolgálása érdekében három öntözőrendszer fejlesztése és építése történt meg. A már meglévő Tiszafüredi öntözőrendszer fejlesztése, valamint a Jászsági és Nagykunsági öntözőrendszerek megépítése mellett kisebb öntözési célok is megvalósultak, például a Cseröközi Holt-Tiszából, továbbá a Nagykunsági főcsatornán keresztül ökológiai vízpótlás történik a Körös-völgybe. Az öntözés mellett a halastavi vízellátás és az akkor még nagyobb jelentőséggel bíró ipari vízellátás biztosítása is feladat volt. Fontos szempont az ivóvízbázis biztosítása a Tisza folyó alsóbb szakaszán üzemelő Szolnoki Felsővízi Vízkivételi mű számára, amely létesítmény mintegy 120 000 ember napi vízellátását szolgálja. A duzzasztómű mellé épített erőtelep energiatermelési célokat szolgál. Mára a létesítmény természetvédelmi szempontból is kiemelt jelentőséggel bír, egyes területei a Hortobágyi Nemzeti Park részei, kiemelten védett természetvédelmi területek.

A létesítmény biztonsága szempontjából lényeges, hogy a Tisza-tó feltöltésekor a Tiszán érkező víz minősége alapvetően meghatározza a tározótérben betározott víz minőségét. A feltöltést követően az üzemeltető felelőssége, hogy a tározó műszaki létesítményei segítségével megőrizzék vagy javítsák azt, az esetlegesen érkező szennyezések kizárásával, vízkormányzással. A Tisza-tavon működő vállalkozások, szervezetek működésükkel, mindennapi tevékenységükkel is befolyásolják a víz minőségét, különösen egy esetleges baleset okozhat környezeti problémát. A tavat keresztező 33-as számú főút és 108-as számú Debrecen-Füzesabony vasútvonal működése során előforduló havária események szintén veszélyeztetik a környezetbiztonságot. Az esetleges havária események ellen – volumenüktől függően – műszaki beavatkozásokkal eredményesen védekezhetünk, de a tározótérben kialakuló vízminőségi állapot elsősorban a bevezetett víz minőségétől és a ráható környezeti tényezőktől függ, így fokozott az üzemeltető felelőssége. A mainál csaknem 1,5 méterrel magasabb tervezett duzzasztási szint eredményeként kellően nagy vízborítottság jött volna létre, melynek köszönhetően a vízrétegek átmelegedése lassabb lett volna. A kialakult sekély vízréteg vízminősége az átmelegedés következtében gyorsan változott a tározótérben maradt nagy mennyiségű szerves anyag bomlása következtében. Így a vártnál kedvezőtlenebb vízminőségi állapot alakult ki. A sekély víztömeg a feliszapolódásra is kedvezőtlen hatással volt, mivel a jelentős növényzet produktum döntő mértékben hozzájárul a tározó töltődéséhez. Már a III. duzzasztási szint bevezetése is megoldást jelenthetett volna a napjainkban is

problémát okozó víztér-növényzet egyensúly felborulására, azzal, hogy a növényzet túlbujánzásának gátját szabná a nagyobb vízmélység. Miután a harmadik duzzasztási szint kialakítása elmaradt, megoldást kellett találni a víztér-növényzet egyensúly felborulásának problémáira. Mindenekelőtt meg kellett mozdítani a vizet, hogy a sekély, pangó víztömegek életre keljenek. Ennek érdekében öblítő csatornák kerültek betervezésre a tározó azon pontjain, ahol a Tisza folyó képes úgy belépni a tározó-térbe, hogy az általa szállított friss víz érdemi vízminőség javulást eredményezzen.

A TISZA-TÓ KIALAKÍTÁSA, A KIALAKÍTÁST KÖVETŐ VÍZMINŐSÉGI ÁLLAPOT

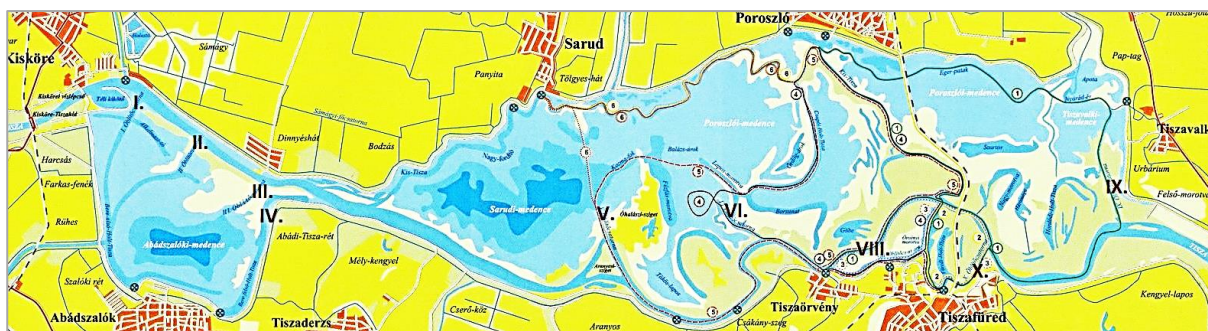
A Tisza-tó hazánk második legnagyobb, egyben legfiatalabb mesterséges tava. Eredeti nevén a Kiskörei duzzasztómű víztározója, amely a Kiskörei vízlépcső által biztosított duzzasztás hatására jött létre. A tó a közép-tiszai szakaszon került kialakításra, a Tisza folyó 404,00 fkm szelvényében. Kontúrját a folyószabályozás évtizedei alatt megépített, illetve a tározó építésekor fejlesztett, átépített árvízvédelmi töltések adják. A Tisza szabályozása előtt szinte a maihoz hasonló vadvizek, vízjárta területek jellemezték e vidéket (Fejes 2011). A töltések közötti hullámterén terül el a mesterségesen létrehozott síkvidéki víztározó, melyen a Tisza folyó önálló mederben folyik át. A főmederrel párhuzamosan, annak jobb, illetve bal partján található az övzátonyok vonulata – ezek alkotják a szigetek és félszigetek rendszerét – amely elválasztja a folyó medrét a tározó medencéitől. A tározó 4 medencére különíthető el. Ezek a Tisza vízfolyásával szembe (felfelé) haladva, az Abádszalóki-medence, a Sarudi-medence, a Poroszlói-medence és a Tiszavalki-medence. A tározó vízszintjét télen csökkentik, így a nyári vízfelület az üzemrendtől függően felére is apadhat. A Tisza-tó teljes területe 127,7 km², melyből vízfelület 104,4 km² (62 km² nyíltvíz, 42,4 km² növényzettel benőtt), míg szárazulat és sziget 23,3 km².

A Tisza-tó szerkezeti egységei önálló víztestekként kerültek meghatározásra. A főmeder, a Tisza folyó medre a 403,2–440,0 fkm közötti szakasza, melynek területe 6,49 km². Abádszalóki-öböl a Tisza-tó déli részén helyezkedik el, a Tisza folyó bal partján. Teljes területe 20,77 km², melyből vízfelület 19,67 km², szárazulat, sziget 1,1 km², átlagos vízmélysége 2,5 méter. A Sarudi-medence, a Tisza folyó jobb partján helyezkedik el. Teljes területe 26,19 km², melyből vízfelület 24,49 km², szárazulat, sziget 1,7 km² átlagos vízmélysége 1,7 méter. A Poroszlói-medence – melynek részeként tekintjük Tiszafüred-Örvény térségét – a Tisza folyó jobb partján helyezkedik el. Teljes területe 49,13 km², melyből vízfelület 35,33 km², szárazulat, sziget 14,1 km², átlagos vízmélysége 1,3 méter. A Tiszavalki-medence, a Tisza folyó jobb partján helyezkedik el. Teljes területe 24,9 km², melyből vízfelület 18,5 km², szárazulat, sziget 6,4 km², átlagos vízmélysége 0,7 méter.

A főmeder és a medencék a folyón érkező hordalék hatására folyamatosan lefüződnek, szeparálódnak. A Tisza-tó természetes állapotában átfolyásos rendszerű víztestek sorozata, amelyek igénylik a folyamatos víz-cserét a Tisza folyó vízteste között. Ennek hiányában megnövekszik azon káros jelenségek száma, amelyek

csökkentik a használati értéket és rontják a víz minőségét, a feliszapolódásból adódóan a hasznos térfogatot, ezek hatásaként pedig negatív ökológiai jelenségek is bekövetkeznek.

A víztározó 1973. május 16-án került átadásra, ezt megelőzően áprilisban kezdődött az I. ütemű duzzasztás, mely mederduzzasztást jelentett, 86,83 m.B.f. szinttel. Ennél a szintnél a folyó még nem lépett ki a medréből, hullámtéri elárasztás nem történt. A vízminőségi állapotra az eredeti, Tisza folyóra jellemző állapot volt a jellemző.



I. ábra. A Tisza-tó
Figure 1. The Lake Tisza

Az eredeti tervek szerint a II. ütemű duzzasztást hamarosan követte volna a III. ütem 1984-ben, majd a IV. ütem egy előre meg nem határozott időpontban. Ahogyan *Hegedűs Lajos*, a KÖTIVIZIG akkori igazgatója mondta a Kiskörei vízlépcső 10 éves évfordulójára 1983-ban megtartott rendezvény nyitó előadásán: „...a III. ütem 300 millió m³ tározott vízmennyiséget irányozott elő. A III. ütem kezdésére a VI. ötéves tervben már sor kerül.” „...A Csongrádi vízlépcső megépülte után előáll az úgynevezett IV. ütemű duzzasztás: 91,50 m.A.f. szinttel, és ehhez 400 millió m³ tározott vízmennyiség tartozik.” (*Magyar Hidrológiai Társaság 1983*). Ma már tudjuk, hogy sem a III. és IV. ütemre, sem a Csongrádi vízlépcső megépítésére nem került sor. A második duzzasztási szint eredetileg tervezett 96 millió m³ tározott vízmennyisége ugyan megemelésre került, ám az még így is messze elmaradt a III. ütemben tervezettől. Jelenleg mintegy 253 millió m³ víz tározása történik a nyári duzzasztási időszakban 88,57 m.B.f. szinttel.

Ennek következtében nem várt fejlemények adódtak a vízminőség terén. Míg a III. és IV. duzzasztási szint eredményeként kellően nagy vízborítottság jött volna létre, melynek köszönhetően a vízrétegek átmelegedése lassabb lett volna, a kialakult sekély vízrétegek vízminősége az átmelegedés következtében gyorsan változott. A kezdeti kedvezőtlen vízminőségi állapot sem az öntözési célok, sem az akkoriban preferált egyéb rekreációs célok kielégítésére nem volt alkalmas, továbbá a tározótérből kilépő víz minősége befolyásolta a Tisza folyó alvízi vízminőségét, mely az alsóbb szakaszokon történő felszíni vízkivételekre gyakorolt kedvezőtlen hatást, főként kisebb vízhozamoknál, alacsony arányú hígulás esetén.

Az 1978-ban megkezdett II. ütemű duzzasztás hatására alakult ki a ma is jellemző nyári időszaknak megfelelő vízborítottság, közkeletű nevén a nyári vízszint, 88,33 m.B.f. szinttel. A tározótérben fokozatosan fejlődött ki a ma ismert változatos, páratlanul gazdag élővilág, mely természeti értékeire tekintettel hamarosan a Hortobágyi Nemzeti Park részévé vált. Napjainkban nagy kiterjedésű nyílt vízfelületek, mocsári és hínári növényzetekkel benőtt vizes területek, holtágak, morotvák, természetes vízfolyások, fokok, öblítő csatornák (római számmal jelezve), szigetek és félszigetek tarkítják, teszik változatosabbá és egyedülivé a 127 km² nagyságú mesterséges tavat (*Fejes 2011*), melyet az I. ábra szemléltet.

Azért, hogy meg tudjuk ítélni a helyzetet, a Kiskörei tározó elárasztását követő állapotra jó példa lehet a Tiszaroffi árapasztó tározó 2010-ben történt elárasztásával kapcsolatos vízminőség vizsgálatokról készült zárójelentés (*Szabó és társai 2011*). A jelentés megállapítja, hogy a júniusban betározott, néhány hétig pangó vízben a medret alkotó tározótérben maradt nagymennyiségű szerves anyag, valamint a sekély vízrétegek felmelegedése hatására az oxigénháztartás drasztikusan megváltozott, az oxigénhiányos állapot kialakulása gyorsan bekövetkezett. A tározó júliusi leürítésekor már megfigyelhető volt az állóvízre jellemző fitoplankton állomány feljutása, továbbá igen magas volt a víz oldott ortofoszfát-foszfor, a-klorofill és oldott mangán tartalma, mely a tározótéren végzett gazdálkodás során felhasznált vegyi anyagok, műtrágyák eredménye lehetett. A párhuzam annyiban módosul, hogy a Tiszaroffi tározó elárasztása vegetációs időszakban, nyár elején történt, növényzettel benőtt területen, még a Kiskörei tározó elárasztására összell került sor. Azonban az is tény, hogy a Tiszaroffi tározóban visszatartott víz csupán néhány hétig volt betározva, még a Kiskörei tározó vize egészen a következő nagyobb árhullámig a tározótérben maradt. Még tovább rontotta a helyzetet, hogy a tározótér területén elvégzett fakitermelést követően nem került sor a tuskók eltávolítására (1. kép). A korabeli fotókon látható, hogy a frissen levágott erdők helyén tósarjak fejlődtek, a felhagyott mezőgazdasági területeken pedig áthatolhatatlan cserjés, bozótos nőtt (2. kép). Az így létrejött mintegy 40 km² nagyságú, igen szívós növényállomány csak a több éves tartós vízborítás alatt pusztult el, majd a jég és a hullámszél hatására feldarabolódott, folyamatos szerves anyag utánpótlást biztosítva és lassítva ezzel a vízminőség javulását (*Szilágyi 2006*).



1. kép. Archív felvétel a tározó elárasztása előtti időkből: kivágott erdő bennmaradt tuskókkal
(Szilágyi 2006)

Photo 1. Archive photo from the times before the flooding of the reservoir: felled forest with remaining logs
(Szilágyi 2006)



2. kép. A hullámtéren nőtt áthatolhatatlan cserjeállomány
(Szilágyi 2006)

Photo 2. An impenetrable shrub grew in the floodplain
(Szilágyi 2006)

Erről az állapotokról ad áttekintést *Bancsi István* a Duzasztott Tisza szakasz 1973-1977 és a Kiskörei tározó 1978-1982 közötti vízminőségi viszonyairól készült jelentésében (1. táblázat).

1. táblázat. Jellemző vízminőségi paraméterek alakulása a Tisza és a Kiskörei tározó területén 1973-1982 között (Bancsi 1983)
Table 1. Changes of characteristic water quality parameters in the Tisza and Kisköre Reservoir areas 1973-1982 (Bancsi 1983)

A vizsgálatok helye	Időtartam (év)	Össz. lebegőa. mg/dm ³	Vez. kép.	Összes oldotta.	KOI sMn	oldott O ₂	O ₂ tel.	ásv. N mg/dm ³	össz. N	oldott PO ₄ ³⁻	összes. P mg/l	Klorofil-a mg/dm ³	össz. bakter. szám
Tiszafüred	1973-1977	102	363	256	6,0	9,0	84	2,43	5,11	0,06	0,31	13,6	41
	1978-1982	146	389	268	7,7	9,0	82	2,37	5,13	0,05	0,32	9,4	-
Kisköre	1973-1977	100	359	253	6,6	8,6	81	2,76	4,48	0,05	0,27	11,3	39
	1978-1982	100	381	261	7,2	8,3	78	2,11	3,96	0,06	0,30	8,6	15
Abádszalóki-öböl	1973-1979	35	336	255	9,5	10,2	110	0,32	-	0,02	-	51	-
	1981-1982	56	349	261	5,2	10,0	106	1,03	2,4	0,02	0,16	20	-
Sarudi-medence	1980	24	379	282	5,7	8,1	85	1,2	2,4	0,02	0,27	22	-
	1981-1982	39	367	270	7,1	10,2	112	0,42	1,6	0,03	0,19	45	-
Poroszlói-medence	1982	49	354	251	7,0	10,6	116	0,4	2,1	0,02	0,20	60	-

Az adatokból látható, hogy a tározótérbe jutó, lelassult mozgású víz állóvíz jelleget ölt, a lebegőanyag kiülepszik, majd mineralizálódik. A lebegőanyag koncentrációjával pozitív korrelációban változó komponensek (KOI, összes N és P koncentráció) ezzel párhuzamosan csökkennek, még a negatív korrelációban változó komponensek (Klorofil-a, oxigén háztartás mutatói) nőnek. Az új tározótérbe eresztett vizek minőségi állapotára általában jellemző, hogy az elárasztást követő első napokban-hetekben inkább csak a víztömeg fizikai viszonyaiban történnek érzékelhető változások (lebegőanyag ülepedése, átlátszóság növekedése, víz színének megváltozása). Az első hetekben-hónapokban, a víztömegben lejátszódó folyamatok további látványos változást nem mutatnak. Ebben az időszakban – a vízhőfok emelkedésének függvényében – indul meg a könnyen bontható szerves anyagok ásványosodása, a szerves növényi tápanyagok beépülése, a fotoszintetikus oxigén termelődése. Tehát (ha az elárasztás ősszel történik, akkor) néhány hónapig – függetlenül a mederben maradó szerves és szerves tápanyagok mennyiségétől – a víz tározása során az emberi használat szempontjából nem kívánatos folyamatok még nem alakulnak ki. Ezt követően azonban a meder állapotától és a vízhőmérséklet emelkedésétől függően, különböző intenzitással indulnak be azok a biológiai folyamatok, amelyek a planktonalgák túlszaporodásához, a fonális algák tömegtermeléséhez, a mérgező anyagok (cianotoxinok) megjelenéséhez, az anaerob

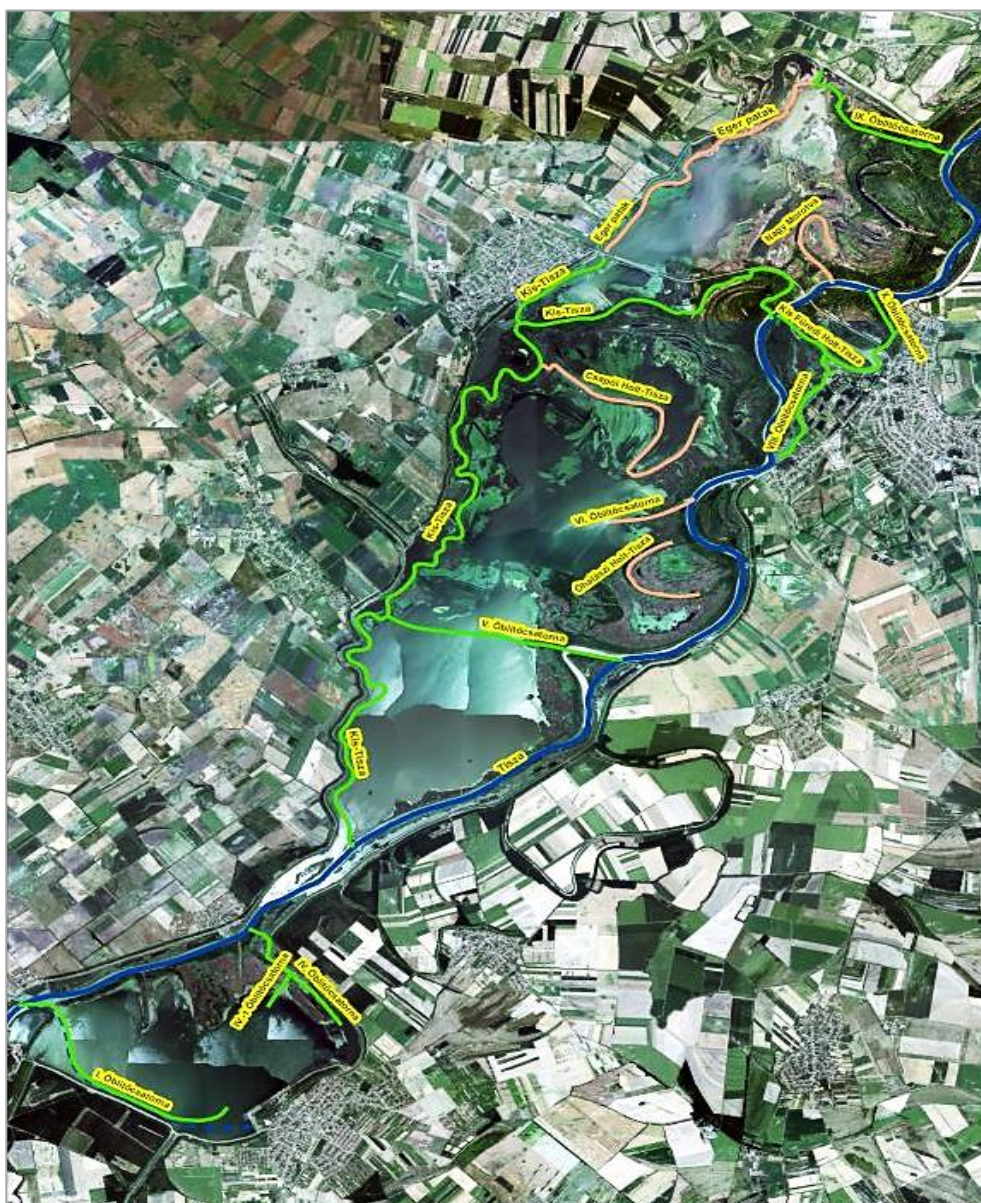
víztömeg kialakulásához vezethetnek. Ezek a vizek már nem vezethetők vissza a befogadóba anélkül, hogy annak korábbi használhatóságát ne rontanák (*Aranyné és társai 2003*).

AZ ÖBLÍTŐ CSATORNÁK HATÁSA A VÍZMINŐSÉGRE ÉS A KÖRNYEZETBIZTONSÁGRA

A sekély, gyorsan átmelegedő vízrétegekben rendszeresen jelentkező kedvezőtlen folyamatok elkerülése érdekében meg kellett mozdítani a vizet. A vízminőséggel szemben támasztott követelmény – miszerint a tározóból kilépő, kivett, vagy benne lévő víz minősége ne legyen rosszabb az oda befolyóénál – elérése érdekében a folyó és a medencék állandó vízforgalmát, vízcserejét és nem utolsósorban a vízi közlekedés feltételeinek megteremtését öblítő csatornák kialakításával kívánták megoldani. A tározó téráramlási viszonyainak javítását szolgáló beavatkozások első sorban főmederi kapcsolatának biztosítását, illetve a belső vízterek összekapcsolását irányozta elő. Az öblítő csatornák az övzatonnyal átvágásával készültek. Nyomvonaluk kialakítása az eredeti tervekben szereplő ún. belső lecsapoló csatornahálózatnak megfelelően történt. A Tisza-tó üzemelésében természetes vízfolyások – mint az Eger-patak, Kis-Tisza – és kotrással bekötött holtágak is részt vesznek. A természetes vízfolyások a meglévő szelvényeik fejlesztésével az eredeti nyomvonaluk megőrzésével kerültek bekapcsolásra a tó áramlási rendszerébe. A jelenlegi duz-

zasztási szint estében az öblítő csatornák biztosítják a tározó átfolyásos jellegét, mivel a főmedret kísérő övzátónyok 0,8-1,5 m-rel emelkednek ki, természetes akadályát képezve a folyó tározótérbe lépésének. A tározótéren belül várható vízműködési és egyéb viszonyok megítélésében a II. ütemű duzzasztási szint üzembe helyezését megelőző időszakban a tervezők között jelentős nézetkülönbségek voltak. Az áramlási viszonyok, a szél okozta hullámmozgások és a jégjárás előrejelzésére kisminta kísérletek készültek, a vízminőség alakulására szakirodalmi adatok alapján született előrejelzés. A kisminta kísérletek alapján kerültek kivitelezésre a tározó körüli töltések hullámvédelmi és jégvédelmi művei, majd később az öblítő csatornák. A megtervezett tíz öblítő csatornából kilenc darab, római számmal jelzett csatorna épült meg, a VII. öblítő csatorna nem valósult meg. Az öblítő csatornák átlagos hossza 1-4 km, szélességük 10 és 60 méter között változik, de az I. számú öblítő csatorna szélessége a torkolatnál 150 méter. A megvalósult öblítő csatornák közül a kisminta kísérletek ellenére több nem megfelelően üzemelt. A II. öblítő csatorna magától feliszapolódott, jelenleg a

vízminőség megjelenségéig csónakkal járható. A III. öblítő csatorna a megnyitását követően hamarosan mesterségesen elzárásra került, mert túl nagy mennyiségben szállított hordalékot, iszapot az Abádszalóki-medencébe. A IV. öblítő csatorna torkolati szakaszát korrigálni kellett, az elsőként kotort meder vízépítési terméskő szórással áttöltésre került. A VIII. öblítő csatorna torkolati szakasza szintén jelentős mennyiségű hordalékot hozott, ezért ezen szakasz felhagyásra került, helyette a X. öblítő csatorna kialakításával biztosították a vízbevezetést. A csatornák vízszállításának, vízhozamának és az áramlás irányának ellenőrzésére helyszíni mérésekre került sor az üzemvízszint esetenként 10 cm-el történő csökkentésével előidézett apadáskor. A kisminta kísérletek alapján kialakított csatornákön végzett korrekciókat követően mérések igazolták a jelenleg üzemelő öblítő csatornák megfelelő működését. A jelenleg üzemelő rendszer elemeinek elhelyezkedését a 2. ábra szemlélteti. Az ábrán kék színnel a Tisza főmeder, zöld és barna színnel az öblítő rendszer elemei kerültek feltüntetésre, ahol a barna szín a közlekedési korlátozással érintett csatornákat, holtágakat jelzi.



2. ábra. Az üzemelő öblítő csatornák elhelyezkedése (A Szerző szerkesztése KÖTIVIZIG adatszolgáltatás alapján)
Figure 2. Location of operating flushing canals (Edited by the Author based on KÖTIVIZIG data service)

Az 1980-as évekre, a kialakított öblítő csatornáknak köszönhetően, a tározótérben lévő víz minősége javult. Ezt alátámasztja *Waijandt János és Végyvári Péter* 1987-ben készült jelentése is, melyet a Kiskörei tározó vízminőségének vízhasználatok szerinti értékeléséről és a vízminőség-szabályozásának lehetőségeiről készítettek. Az öntözés és a halgazdálkodás szempontjából vizsgált vízminőség a jelentés készítésekor érvényes MI-10-172/3-85 műszaki irányelv alapján a komponensek 53-73%-ban I. osztályú, 13-33%-ban II. osztályú, egyes egyéb komponensek esetében (ásványi olaj, nitrit-ion) pedig III. osztályú volt. A vizsgált vízterek közül a duzzasztott Ti-

sza szakasz rendelkezett a legrosszabb minőséggel. 1980-ban a víz minősége a nitrit-ion (NO_2^-), az ásványolajok, a fenolok és az összes vas (Fe) tekintetében III. osztályú minősítést kapott. A további években is jellemzően a nitrit-ion, az ásványolajok és az összes vas mutatott kiugróan rossz értékeket, amely eredmények a kor jellemző ipari szennyezéseinek jelei voltak. A Kiskörei tározó egyes vízterének vízminőségi osztályait ivóvízellátás, öntözővíz és halászati hasznosítás céljából az 2., 3. és 4. táblázat szemlélteti, ahol az I. osztály a tiszta, a II. osztály a kissé szennyezett, még a III. osztály a szennyezett víz minőségi állapotot jelenti (*Waijandt és Végyvári 1987*).

2. táblázat. A Kiskörei tározó egyes vízterének vízminőségi osztálya az ivóvízellátás szempontjából
Table 2. Classification of different water bodies of Kisköre Reservoir in terms of drinking water between 1980-1984

Komponens	Duzzasztott Tisza-szakasz					Abádszalóki-medence					Sarudi-medence				Poroszlói-medence		Tiszavalki-medence	
	1980	1981	1982	1983	1984	1980	1981	1982	1983	1984	1980	1981	1982	1984	1982	1984	1983	1984
Víz hőfok	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Vez.kép.	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Old.anyag	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
pH	I	I	I	I	I	II	II	II	II	II	II	III	II	III	II	II	II	II
KO _l p	II	II	I	I	II	I	I	I	I	I	II	I	I	II	II	II	II	II
KO _k	II	II	II	II	II	II	II	I	II	II	I	II	II	II	II	III	II	III
Össz. kem.	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Mg ²⁺ -ion	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
NH ₄ ⁺ -ion	II	II	I	II	II	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	I	I	I
NO ₂ ⁻ -ion	III	III	II	III	III	II	II	II	II	II	II	II	II	II	I	II	II	III
NO ₃ ⁻ -ion	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Cl ⁻ -ion	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
SO ₄ ²⁻ -ion	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Ásványolajok (UV)	III	II	III	III	-	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	-
Fenolok	III	I	I	I	II	II	I	I	I	II	III	I	I	I	I	II	II	II
Mosószer	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Össz. Mn	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Össz. Fe	III	II	III	II	II	II	II	II	II	II	III	II	II	I	II	II	II	II
Minősítés	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III

3. táblázat. A Kiskörei tározó egyes vízterének vízminőségi osztálya az öntözés szempontjából
Table 3. Classification of different water bodies of Kisköre Reservoir in terms of irrigation water between 1980-1984

Komponens	Duzzasztott Tisza-szakasz				Abádszalóki-medence				Sarudi-medence				Poroszlói-medence		Tiszavalki-medence		
	1980	1981	1982	1984	1980	1981	1982	1983	1984	1980	1981	1982	1984	1982	1984	1983	1984
Vez.kép.	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Old.anyag	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
pH	I	II	I	I	I	II	II	II	II	I	III	II	III	II	II	II	II
Össz. kem.	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Lugosság	I	I	II	II	II	I	I	II	I	I	I	II	II	II	II	II	II
Mg ²⁺ -ion	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Cl ⁻ -ion	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
SO ₄ ²⁻ -ion	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Na%	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Minősítés	I	I	II	II	II	II	II	II	II	I	III	II	III	II	II	II	II

4. táblázat. A Kiskörei tározó egyes vízterének vízminőségi osztálya halászati felhasználás szempontjából
Table 4. Classification of different water bodies of Kisköre Reservoir in terms of aquaculture water between 1980-1984

Komponens	Duzzasztott Tisza-szakasz					Abádszalóki-medence					Sarudi-medence				Poroszlói-medence		Tiszavalki-medence	
	1980	1981	1982	1983	1984	1980	1981	1982	1983	1984	1980	1981	1982	1984	1982	1984	1983	1984
Víz hőfok	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Vez.kép.	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
pH	I	II	I	I	I	II	II	II	II	II	I	III	II	III	II	II	II	II
oldott O ₂	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I
Na ⁺ -ion	II	II	I	II	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
KO _l p	II	II	I	I	II	I	I	I	I	I	II	I	II	II	II	II	II	II
NO ₂ ⁻ -ion	III	III	II	III	III	II	II	II	II	II	II	II	II	II	I	II	II	III
NO ₃ ⁻ -ion	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Cl ⁻ -ion	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
O-PO ₄ ³⁻ -ion	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Lugosság	I	I	II	II	II	I	I	II	I	I	I	II	II	II	II	II	II	II
Fenolok	III	I	I	I	II	II	I	I	I	II	III	I	I	I	I	II	II	II
Mosószer	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Össz. Mn	I	I	I	I	I	III	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Össz. Fe	III	II	III	II	II	II	II	II	II	II	III	II	II	I	II	II	II	II
Ásványolajok (UV)	III	II	III	III	-	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	-
Minősítés	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III

Az öblítő csatorna kialakítása a megfelelő vízminőség szavatolásával hozzájárult a tározó hatásterületén a termelésbiztonság növeléséhez. Bár manapság a tervezéskori állapotához képest lényegesen kevesebb öntözött terület vízellátása valósul meg, a kitermelt víz mennyisége az elmúlt

évtizedekben mintegy 20%-al nőtt, és napjainkban is növekedés tapasztalható. A növekvő igényeket egyre nehezebb kiszolgálni, de ennek oka inkább az alsóbbrendű öntözőcsatorna leromlott állapota, kiépíttlensége, és nem a rendelkezésre álló vízbázis hiánya. Az öntözés ugyan

nem a terveknek megfelelően nőtt, viszont nem tervezett víz-igények is felmerültek. A Tisza-Körös-völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer (TIKEVIR) keretében a Nagykunsági-főcsatornán és a Hortobágy-Berettyó folyón keresztül a Hármas-Körös folyóba történő vízpótlás a Hármas-Körös ökológiai biztonságát teremti meg a Kiskörei tározóból ki-vezetett vízmennyiség mintegy felének felhasználásával. A tározóból történő vízkivétel adatait a 5. táblázat tartalmazza.

tül a Hármas-Körös folyóba történő vízpótlás a Hármas-Körös ökológiai biztonságát teremti meg a Kiskörei tározóból ki-vezetett vízmennyiség mintegy felének felhasználásával. A tározóból történő vízkivétel adatait a 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat. Főművi vízkivételek 1990-ben és 2019-ben (A Szerző szerkesztése KÖTIVIZIG adatok alapján, 1000 m³-ben)
Table 5. Main canal water abstractions in 1990 and 2019 (Edited by the Author based on KÖTIVIZIG data, in 1000 m³)

Megnevezés	Tiszafüredi rendszer	Jászsági rendszer	Nagykunsági rendszer	Cserétközi Holt-Tisza	Összesen
Szivattyúval és gravitációsan kitermelt víz mennyisége 1990	7 168	48 932	277 138	n.a.	333 239
Szivattyúval és gravitációsan kitermelt víz mennyisége 2019	9 674	56 854	355 471	547	422 546
ebből:					
öntözésre átadott	1 790	1 917	27143	9	30 859
halastó ellátásra átadott	2 526	10 617	18 231	-	31 374
ökológiai célra átadott	-	-	263 558	-	263 558
egyéb célra átadott	826	41 450	10881	538	53 695
rendszer veszteség vagy többlet	532	870	5 658		3 060

Az is bebizonyosodott, hogy az öblítő csatornák Tisza felőli kitorcolásánál műtárgyakkal szükséges szabályozni a tározó térbe vezetett vizet. A folyón érkező árhullámokkal nagy mennyiségű iszap, hordalék jutott a tározótérbe, mely rendkívüli módon gyorsította a feltöltődést. A sekély síkvidéki tározók első 15 éve alatt 35%-os, a második 15 éve alatt 10%-os feltöltődés várható. Ennél is nagyobb mértékben töltődnek az ún. hullámtéri tározók, melyek hullámtere néhány évtized alatt teljesen feltöltődik, míg a főmederben csak elhanyagolható feltöltődés tapasztalható. Összesen kilenc műtárgy épült, melyek az alábbiak:

- Buláti-csatorna műtárgya,
- IX. számú Valki,
- Aponyháti,
- X. számú Füredi,
- Kisfüredi-foki,
- Kis-Tisza,
- VI. számú Rücskösi,
- V. számú Aranyosi,
- IV. számú Abádszalóki.

A szabályzó műtárgyak helyzetével kapcsolatban három üzemállapotot állapítottak meg:

- Alap üzemállapot (zárt állapot)
A műtárgyak nyílásai zárt állapotban vannak, az áthajózás nem biztosított. A műtárgy zárására ideiglenes betétgerendák szolgálnak.
- Részlegesen nyitott állapot
Amennyiben a vízminőség igényei lehetővé teszik, az áthajózás feltételei egy-egy nyílásban biztosíthatók.
- Nyitott állapot
A szabályzó műtárgyak az alsó ideiglenes betétgerenda kivételével nyitott állapotban vannak.

Az üzemeltetéssel kapcsolatban az alábbi üzemrendeket határozták meg a szabályzó műtárgyak üzemállapotainak kapcsolt rendszerében:

- Normál üzemrend
A műtárgyak a vízlepcső üzemrendje alapján meghatározott időrendben működnek, ezek lehetnek:
 - Alap üzemállapot (zárt állapot)
 - Nyitott állapot.

Normál üzemrendben lévő műtárgyak üzemállapotainak meghatározása, amennyiben beavatkozást igénylő hatás nem áll fenn. Normál üzemrendben valamennyi szabályzó műtárgy a fennálló hidrometeorológiai helyzetnek megfelelő üzemállapotban van.

- Rendkívüli üzemrend
Amennyiben valamelyik műtárgy a hidrometeorológiai helyzetnek megfelelő eltérő üzemállapotban van, ezek:
 - árvízi üzem,
 - vízminőségi kárelhárítási üzem,
 - vízminőség javítási üzem,
 - karbantartási üzem,
 - részleges nyitás az áthajózáshoz,
 - élővilág (elsősorban halak) vándorlási igénye.

Amennyiben valamelyik (vagy több) szabályzó műtárgy az időrendi táblázattól eltérő üzemállapotban van. Rendkívüli üzemrend alapesetei:

- a. árhullámban történő üzemelés (árvízi üzemmód),
- b. vízminőségvédelmi kárelhárítás,
- c. vízminőség-javító beavatkozások,
- d. karbantartás, felújítás,
- e. részleges nyitás áthajózáshoz,
- f. a IX. sz. műtárgy tiltójának és a Kis-Tisza műtárgy nyitott állapota a téli duzzasztási szint (normál jeges) időszakában,
- g. halak vándorlási igényének kielégítése.

A csatornák feltöltődése jellemzően a torkolat környékén a legintenzívebb. Az itt kialakuló hordalékkúpok esetenként a közlekedést is akadályozzák, ezért a csatornák és műtárgyak, valamint művi jellegéből adódóan a teljes tározó rendszeres karbantartása szükséges. Erre költségvetési források hiányában a szükségesnél ritkábban adódik lehetőség, ezért az elmaradó beavatkozásokat, halmozódó problémákat egy-egy nagyobb volumenű beruházás keretében orvosolják. Az első komolyabb beavatkozásra 2011-2014 évek során került sor, 2008-2010 években készült tervek alapján, európai uniós források felhasználásával. A több mint 100 ha-ra kiterjedő tározótéri lepelkotrás, a partbiztosítások helyreállítása, a Jászsági- és Nagykunsági-főcsatornák torkolati műtárgyainak rekonstrukciója, valamint egy, a

Kiskörei duzzasztóművet megkerülő hallépcső építése mellett megtörtént a VI., IX., X. jelű szabályozó műtárgyak rekonstrukciója, valamint a mesterséges és természetes csatornarendszerek fenntartó kotrása. Ennek keretében a VI., VIII., X. jelű, és az Aponyháti-csatornák, valamint a természetes kisvízfolyások közül a Kis-Tisza és az Eger-patak és további, tározótéri holtágak kotrására, illetve az Aponyháti-csatornának egy új ága került kialakítására. Nagy mennyiségű szerves anyag és iszap került eltávolításra mind a csatornák szabályozó műtárgyainak térségéből, mind a csatornák torkolattól távolabbi szakaszairól, ami az egyes csatornák eltérő mértékű, de összességében jelentős feliszapolódására utal. Az öblítő csatornák feliszapolódásának mértékét a tervezett kotrási mennyiségek szemléltetik (6. táblázat).

6. táblázat. Az öblítő csatornában lévő feliszapolódás mértéke 2013-ban és 2015-ben (A Szerző szerkesztése KÖTIVIZIG adatok alapján)
Table 6. The extent of sludge in the flushing canals in 2013 and 2015 (Edited by the Author based on KÖTIVIZIG data)

	I öblítő	IV öblítő	V öblítő	VI öblítő	VIII öblítő	IX öblítő	X öblítő	Aponyháti csatorna	Kisfüredi-fok
Eredetileg tervezett mederfenék (m.B.f.)	85,00	85,00	85,20	85,50	85,80	85,50	85,80	85,80	85,50
2013. évi felméréskor tervezett mederfenék (m.B.f.)	85,00	85,50	85,80	-	-	85,80	-	-	85,80
Feliszapolódás a tervezett mederfenékhez képest (m ³) torkolat ~ 80 – 100 m	712	672	1350	-	-	3745	-	-	1244
2015. évi felméréskor tervezett mederfenék (m.B.f.)	85,50	85,80	85,80	85,80	-	85,80	85,80	85,80	85,80
Feliszapolódás a tervezett mederfenékhez képest (m ³) torkolat ~ 80 – 100 m	1123	2951	2192	620	-	2382	54	949	2560

A fent említett, rekonstrukciós beavatkozással érintett VI., VIII., X. jelű, és az Aponyháti-csatornák esetében az első felmérés évében nem jelentkezett kotrási igény. A felméréseket összehasonlítva megállapítható, hogy a 2013-as felvételezéshez képest 2015-re a VIII. és IX. öblítő csatorna kivételével minden csatornában nőtt a feliszapolódás. Történt ez annak ellenére, hogy a második felmérés idején a tervezett mederfenék szintje az I., IV., V., VI. csatornák esetében megemelésre került, így az eltávolítani tervezett iszap mennyisége számszerűen csökkent. A tervezett mederfenék szintjének változtatása nélkül a feliszapolódás mértéke még nagyobb mennyiségeket mutatna. A hidromechanizációs módon kikotort iszap a tározó területén lévő szárazulatokon került elhelyezésre. Ezen feltétel mellett az iszap minőségét nem volt szükséges vizsgálni, mivel a kotrással érintett ingatlan területéről nem került ki a kotort anyag. Ellenkező esetben az veszélyes hulladéknak minősülne, és ennek megfelelő kezelést igényelne, mely kezelés költségei ilyen anyagmennyiségek mellett a beruházási költségek többszörösébe is kerülhetnek, amely ellehetlenítene a beruházásokat.

A szabályozó műtárgyak fontos szerephez jutottak a Tisza folyón történt 2000. évi cianid és nehézfém szennyezés során. 2000. január 30-án katasztrófa történt a romániai Nagybánya település térségében, ahol egy aranybányászattal foglalkozó vállalat ipari zagy tárolására szolgáló tározójának gátja átszakadt, ezzel mintegy 100 000 m³ cianid (CN) és nehézfémeket tartalmazó zagy ömlött a közeli Zazar patakba, onnan a Lápos folyóba, majd a Szamoson keresztül a Tiszába. A Szamos cianid tartalma 20-30 mg/l között, míg a Tisza Szamos torkolat alatti szakaszán 10-15 mg/l között volt. A cianid kimutatósi határértéke 0,001 mg/l, az akkor érvényes MSZ-12749:1993 Magyar Szabvány szerint a szennyezett felszíni víz határértéke 0,1 mg/l,

mely érték szerepel az ivóvíz szabványban még megengedhető koncentrációként is. Tehát a szennyezés a határérték 150-200-szorosát is elérte. A nemzetközi normákban egészségügyi határérték 0,01-0,05 mg/l, a természetes öntisztulást gátló küszöbérték 0,1 mg/l. Az erősen mérgező hullám 2000. február 1. és 12. között vonult keresztül Magyarországon. A szennyezőhullámot folyamatos monitoring kísérte, valamint terv készült a Tisza-tó rendkívüli üzemmódban történő működtetésére, mellyel sikerült felgyorsítani a szennyezés áthaladását, valamint hígító víz hozzáadásával csökkenteni a szennyezés koncentrációját. A szennyezés a Tisza-tavat a tiszafüredi szelvényben 2000. február 7-én 2 órakor érte el, a mért maximális cianid koncentráció itt 4,9 mg/l volt. Ezt az értéket szükséges volt csökkenteni annak érdekében, hogy folyó alsóbb szakaszán található szolnoki felszíni vízkivételi mű üzembe biztosítható legyen, illetve az esetleges üzemszünet minél rövidebb időre korlátozódjon, továbbá az alsóbb folyószakaszokon található hullámtéri holtágakban és természeti értékekben minél kisebb kár keletkezzen. Az Országos Műszaki Irányító Törzs (OMIT) engedélyével a Kiskörei Vízlépcső rendkívüli üzemmódban hajtotta végre azokat a vízkormányzási manővereket, melyek lehetővé tették a gyors és hatékony beavatkozásokat. A Kiskörei tározóban ebben az időszakban téli vízszintet (Kisköre felső vízmércén mért 610 cm-es vízállás) tartott a vízügyi igazgatóság, a szabályozó műtárgyak zárt állapotban voltak. A beavatkozások megkezdésekor a duzzasztómű szegmenstábláinak zárásával és a szabályozó műtárgyak nyitásával a tározó 10-30 cm/nap ütemben feltöltésre került jó minőségű vízzel. Február 3-6 között 55 millió m³ víz került betározásra, a Kisköre felső vízmércén mért vízállás 700 cm-re emelkedett. A szennyező hullám megérkezése előtt a műtárgyak ismét zárásra kerültek. Az elzáró szerkezettel nem rendelkező vízfolyások (pl. Buláti-fok) vízkapcsolatának megszüntetésére is megoldást kellett találni, melyre a 3. képen látható módon került sor.



3. kép. Homokzsákkal elzárt tározóbéli vízfolyás
(Saját szerkesztés archív felvétel alapján)

Photo 3. A reservoir watercourse enclosed by a sandbag
(Own editing based on archive photo)

A szennyező hullám tiszafüredi szelvénybe érkezésekor a Kiskörei duzzasztómű rendkívüli üzemi állapotba került, a hirtelen vízkiáramlás következtében a vízfelszín jelentős esése következett be, ennek eredményeként a szennyezett víz nagy sebességgel ürült a folyó tározói szakaszából. A kialakuló vízszint különbség eredményeként az előzetesen felduzzasztott tározótérből nagy mennyiségű tiszta víz áramlott a főmeder irányába, jelentős hígító hatást eredményezve a főmederben, melynek keretében mintegy 25 millió m³ víz jutott vissza a mederbe, mesterséges árhullámot előidézve. A tározó vízszint emelésével előzetesen betárolt víztömeg hígító hatása a kiskörei szelvényben jelentős koncentráció csökkenést okozott, amelyet a mérési eredmények is igazoltak. A mért legnagyobb cianid tartalom 3,88 mg/l volt Kiskörénél és 2,85 mg/l Szolnokonál. A végrehajtott beavatkozásoknak köszönhetően a Tisza-tó medencéibe szennyezett víz nem jutott be. A duzzasztómű alatti szakaszon található hullámtéri holtágak a főmedertől elzárásra kerültek, a vizes élőhelyek megóvása érdekében. A folyó élővilágában bekövetkezett károk enyhítésében különösen fontos szerep jutott a közép-tiszai szakaszon a Tisza-tó így megóvott medencéinek és a hullámtéri vizes élőhelyeknek.

Részben a cianid szennyezés okozta fokozott figyelemnek köszönhetően került kimérésre a néhány héttel később, 2000. március 10-én bekövetkezett újabb baleset következtében történt szennyezés, mely szintén a romániai Borsabányán történt. Egy három medencéből álló ülepítő rendszer első medencéje túlsordult. 100 000 m³ víz és 40 000 tonna nehézfémeket – ólomot, cinket, rezet – tartalmazó zagy folyt át az első gáton. Ebből megközelítőleg 10 000 tonna zagyot felfogott a második és a harmadik gát, a többi pedig (megközelítőleg 20 000 tonna) a Novác és a Vasér patakokba folyt, ahonnan a Visó és a Tisza folyóba érkezett. A szennyezés kisebb károkozással vonult le a folyón 2000. március 10. és április 10. között, több hullámban. A szennyező anyag nagyobb része a felső-tiszai szakaszon kiülepedett. Március 12-én az összes ólom és cink koncentráció maximuma 2,9 mg/l, a réz 0,89 mg/l volt. A Tisza alsóbb szakaszaira 8-10 nap alatt jutott el a szennyezőhullám, ahol a mért nehézfém koncentrációk már alig haladták meg a határértékeket. A szennyezés jelentős árhullámmal együtt érkezett, mely jelentős hígulást

eredményezett, ugyanakkor a cianid szennyezés alkalmával végzett műszaki beavatkozásokat ekkor nem lehetett elvégezni, mivel a duzzasztás az árhullám miatt szünetelt. A műtárgyak zárásával ugyanakkor megakadályozható volt a szennyezés tározótérbe jutása. Az így megóvott élővilág képes volt rövid idő alatt regenerálódni, és ismét beépíteni a Tisza életterét, hozzájárulva ezzel az ökológiai és gazdasági katasztrófa hatásaink mérsékléséhez.

KÖVETKEZTETÉSEK

A Tisza-tó vízminőségi állapotát, annak változásait napjainkban folyamatosan figyelemmel kísérik. A Közép-Tiszavidéki Vízügyi Igazgatóság Regionális Laboratóriuma minden évben közzéadja a Tisza-tó állapotfelméréséről készített jelentését, melyben az Európai Unió Víz Keretirányelvében foglaltak szerinti speciális monitorozás eredményeit összegzi. A rendszeres felmérések az aktuális állapotot és a hosszú távú változásokat is jellemzik. Az eredmények értékelése a Víz Keretirányelv minősítése szerint történik. A 2015. évben elfogadott II. Vízügyi-tervezési Tervben (VGT II.) módosított víztest besorolások alapján végzett értékelések a hidraulikailag egységes egészét képező Tisza főmederre, Abádszalóki-, Sarudi-, Poroszlói-, Tiszavalkai-medencékre vonatkoznak. A jelentés alapján a Tisza-tó vízminősége mind fiziko-kémiai, mind makrovegetációs, fitobenton, fitoplankton, makroszkópikus vízi gerinctelenek, valamint halászati felmérések szempontjából jó, ill. kiváló potenciálú (*Aranyiné és társai 2017*). Ezen állapot elérésben kiemelkedő szerepet játszanak az öblítő csatornák. Azonban nem szabad abba a hibába esnünk, hogy a jó állapot ismeretében „hát-radólunk”, bízva a rendszer működésében.

Összességében megállapítható, hogy a Tisza-tó, mint tipikus sekély vizű síkvidéki tározó fennmaradásához, a megfelelő minőségű víznek a környező térségek számára történő biztosításához nem elegendő csak a duzzasztás, vízviasszatartás feladatainak elvégzése. Az öblítő csatornákkal történő, átgondolt üzemi állapot alapuló aktív vízminőség-szabályozás is elengedhetetlen feltétele a létesítmény célszerű üzemelésének. Ehhez pedig folytatni szükséges az öblítő csatornák és szabályozó műtárgyaik revízióját, szükség esetén rekonstrukcióját. A hosszú távú, átgondolt és megalapozott fejlesztések érdekében javasolt egy felülvizsgálati és rekonstrukciós terv összeállítása, mely meghatározza a legszükségesebb beavatkozások idő- és költség-szükségletét, azok kivitelezésének sorrendjét, valamint általános képet adhat a csatornák és szabályozó műtárgyak állapotáról, állapotváltozásairól és ennek következményeiről.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Aranyiné Rózsavári A., Bancsi I., Csépes E., Kovács P., Teszárné Nagy M., Végvári P. (2003). A sekélyvizű tározás jellemzői. Kézirat, p. 35., Szolnok. [http://oko-zrt.hu/images/okolet/A sekélyvizű tározás jellemzői.pdf](http://oko-zrt.hu/images/okolet/A%20sekelyvizu%20tarozas%20jellemzoi.pdf)

Aranyiné Rózsavári A., Csépes E., Bácsiné Béres V., Kovács P., Kovácsné Berényi A., Kummer L., Súlyom N., Szalay Gy. (2017). A Tisza-tó 2017. évi állapotfelmérése. Szolnok.

http://kotiweb.vizugy.hu/doksik/tarozo_jelentes_2017.pdf

Bancsi I. (1983). A Kiskörei-tározó vízminőség viszonyai 1973-1983 között. In: Magyar Hidrológiai Társaság Szolnoki Területi Szervezete. Anket a Kiskörei Vízlépcső felavatásának 10 éves évfordulójára. http://kotiweb.vizugy.hu/doksik/anket_a_kiskorei_vizlepcso_felavatasanak_10_eves_evfordulojara.pdf (letöltve: 2019.04.14.)

Fejes L. (2011). A Tisza-tó vízrendszere.

http://www.kotivizig.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=20:tisza-to-vizrendszere&catid=47:tisza-to-vizrendszere&Itemid=77 (letöltve: 2019.03.08.)

Halász L., Földi L. (2014). Környezetbiztonság. Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztviselői Kar. Budapest. ISBN 978-615-5305-97-9 pp. 7-16.

Ijjas I. (2018). Vízbiztonságos Magyarország. Előadási anyaga, mely elhangzott a Víz és Biztonság Magyarországon konferencia keretében. Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2018. 09. 27. <https://vtk.uni-nke.hu/kutatas-es-tudomanyos-elet/viz-es-biztonsag-magyarorszagon-konferencia/eloadasanyagok> (letöltve: 2019. 12. 11.)

Szabó A., Bíró T., Kovács S., Végvári P., Kelemenné Szilágyi E., Csépes E., Teszárné Nagy M., Aranyé Rózsavári A. (2011). Vízminőség változás nyomán követése a Tiszaroffi árapasztó tározóban. Hidrológiai Közlöny 91. évfolyam 6. szám, pp. 78-81.

Szalkai A. (2008). Vízihiány a Közel-Keleten: olajháború után vízháború? Nemzet és Biztonság 1. évf. 10., pp. 25-36.

Szilágyi E. (2006). A Kiskörei-tározó makrovegetációjának dinamikája és természetvédelmi vonatkozásai. Debreceni Egyetem Kossuth Egyetemi Kiadója, Debrecen. ISBN 963 472 982 7

Waijandt J., Végvári P. (1987). A Kiskörei-tározó vízminőségének vízhasználatok szerinti értékelése és a vízminőség-szabályozásának lehetőségei. In: Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság: Album a Kiskörei tározó térségéről. Vízügyi Dokumentációs Szolgáltató Leányvállalat, Budapest. ISBN 963 602 474 X

A SZERZŐ



KATONA GÁBOR 2002-től a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság dolgozója, az Árvízvédelmi és Folyószabályozási Osztály vízminőség-védelmi előadója, Tisza-tavi referens. 2007-2010 között a vízminőség-védelmi csoport vezetője. 2010-től a pályázati koordinációs csoport vezetője, a komplex Tisza-tó projekt projektmenedzsere, közreműködött a kiskörei hallépcső tervezésében, építésében, továbbá a beruházás keretében számos egyéb a Tisza-tavat és a TIKEVIR-t érintő fejlesztésben. 2015-től a Vagyongazdálkodási és Üzemeltetési Osztály vezetője.

Nekrológ



Életének 96. évében elhunyt dr. Kozák Miklós professzor, okleveles mérnök (BME), kandidátus (1958), a műszaki tudományok doktora (MTA 1968), a Budapesti Műszaki Egyetem Vízgazdálkodási és Vízépítési Intézetének nyugalmazott igazgatója, a Magyar Hidrológiai Társaság volt alelnöke.

Volt kollégái, tanítványai és a Magyar Hidrológiai Társaság nevében *Bakony Péterrel, Rátky Istvánnal és Horváth Lászlóval* köszöntöttük Kozák professzort a 95. születésnapja alkalmából (Hidrológiai Közlöny, 2019/3. szám). Bemutattuk az életútjának legfontosabb állomásait és eredményeit, és azt, hogy egész életében – még a kilencvenes éveiben is – állandóan dolgozott valamin. Az elmúlt hónapokban a Vízügyi Tudományos Tanács felkérésére az életmű kötetén végezte az utolsó simításokat. Szomorú szívvel hallottuk a hírt, hogy a szakmai-tudományos pályafutásának eredményeit összefoglaló mű megjelenését már nem érheti meg. A kötet kézírata volt tanítványai és munkatársai segítségével már a kiadóhoz került. A tervek szerint 2020. novemberében, a Tudományok Hónapja programjának keretében lesz a könyvbemutató.

Rendkívül nehéz anyagi körülmények között, nagy szorgalommal és óriási akaraterővel végezte az általános, a középiskolai és az egyetemi tanulmányait is. 1947-ben vették fel a Műegyetem Kultúr mérnöki Karára, ahol 1951-ben kapta meg mérnöki oklevelét. Nagyszerű tanárai voltak, köztük ki kell emelni *Mosonyi professzort*, akihez az egyetem elvégzése után is, egész életében szoros kapcsolat fűzte. A mérnöki oklevél megszerzése után az MTA tudományos ösztöndíjasa lett. Mosonyi professzor volt a tudományos konzulense. Neki köszönheti élete legsikeresebb kutatási témájának megválasztását, ő javasolta neki, hogy foglalkozzon a nempermanens vízmozgások vizsgálatával.

A diploma megszerzése után a Közoktatásügyi Minisztériumban, utána pedig 1953-tól a Műegyetem Vízépítési Tanszékén dolgozott, amelynek Mosonyi professzor volt a vezetője. 1956-ban adjunktusi, 1962-ben docensi, 1969-ben egyetemi tanári címet kapott. 1969-től a Vízépítési Tanszék vezetője, 1974-1987-ig Vízgazdálkodási és Vízépítési Intézet igazgatója volt. 1968-ban védte meg „A szabadfelszínű nempermanens vízmozgások számítása digitális számítógéppel” című Műszaki Tudományok Doktora címért benyújtott értekezését. Ezután egy évet az USA-ban töltött Ford ösztöndíjjal, ahol a nempermanens vízmozgások számítógépes

Dr. Kozák Miklós

Kunhegyes, 1924. 09. 05. – Budapest, 2020. 05. 12.

vizsgálatával és az osztott paraméterű vízgyűjtő modellezéssel foglalkozott. Hazatérése után lett a Vízépítési Tanszék vezetője. Oktató munkája mellett a BME Nemzetközi Kapcsolatok Osztályát is vezette.

Több mint 200 publikációja jelent meg, közülük 35 idegen nyelven. A külföldön tartott előadásainak száma meghaladta az ötvenet. *Kertai Edével* közösen készítette el közel egy évtizedes munkával Magyarország nagyobb vízépítési műtárgyainak három kötetes monográfiáját (Duzzasztóművek, Folyami kikötők, Tavi kikötők). A monográfia szakmatörténeti szempontból kiemelkedő jelentőségű mű, de a mai vízmérnökök is sokat tanulhatnak belőlük, és a laikusok számára is érdekesen mutatja be Magyarország legjelentősebb vízépítési műtárgyait és a vízmérnöki munka szépségeit és fontosságát. A Vízépítési Tanszék nagyszámú bírósági szakértői megbízásának tapasztalatait felhasználva írták *Szabathiel József* professzorral a *Vízépítési tapasztalatok* című jegyzetet, és ebben a témakörben új tantárgyakat is beindítottak. Később Kozák professzor több egyetemi jegyzetet is írt ebben a témakörben, az egyiket *Hamvas Ferencel*, akivel 97 esettanulmányt dolgoztak fel. Nagyon fontosnak tartotta a hallgatók gyakorlati képzését, ennek elősegítéséhez gazdag diapozitív gyűjteményt hozott létre a vízállás- és vízépítési hibákról.

Amikor tanszékvezető lett, tehetséges fiatalokat hívott meg a tanszékre, akik közül az első időszakban külön kiemelendő *Bakonyi Péter, Rátky István és Horváth László*, akik a tanszéki tudományos iskola első kiválóságai voltak. Nagy súlyt helyezett munkatársai szakmai fejlődésére. Francia ösztöndíjhoz, hollandiai továbbképzéshez, kanadai és dániai munkavállalási lehetőséghez segítette őket. 1974-től, amikor a Vízgazdálkodási és Vízépítési Intézet igazgatója lett, az egyik helyettese voltam. Jó vezető volt, nagyon sokat tanultam tőle. Igazságosan és bölcsen vezette az Intézetet. Jól összehangolta, egyesítette a három tanszék erejét, és vezetése alatt, különösen a számítástechnika alkalmazása terén, az Intézet hazai és nemzetközi viszonylatban is elismert oktatási egység és fejlesztő műhely lett. Jelentősen fejlesztette az Intézet nemzetközi kapcsolatait. Nevéhez fűződik a vízmérnök képzést végző közép-európai tanszékek vezetőinek a találkozója és együttműködése. Nemzetközi kapcsolatainak köszönhető, hogy a Nemzetközi Hidraulikai Kutatási Szövetség (IAHR) támogatásával fontos nemzetközi konferenciát szerveztünk Magyarországon a számítógépek alkalmazásáról a víztudományokban.

Nem túlzás azt mondani, hogy forradalmi változást hozott az 1960-as években az emberiség történetében általánosságban – és a víztudományokban is – a számítógép feltalálása és a számítógépek alkalmazásának elterjedése. Kiemelkedő szerepe volt Kozák professzornak a számítógépes hidraulika és a hidrinformatika „születésében” Magyarországon. A számítógépek alkalmazásának gyors elterjedéséhez tananyagokra volt szükség. A vízmérnöki tudományok területén Kozák Miklós és munkatársai nevéhez fűződik az oktatáshoz szükséges első hazai egyetemi jegyzetek megjelentetése a Mérnöki Továbbképző Intézet kiadásában: *Benkő Tiborné – Kozák Miklós (1971) Hidraulikai problémák megoldása számítógéppel; Kozák Miklós – Bozóky-Szeszich Károly – Ijjas István (1972) Számi-*

tógépek alkalmazása a vízépítési számításokban; Kozák Miklós (1975) Számítógépek alkalmazása a vízgazdálkodási feladatokban. Ezeknek a témáknak akkoriban még nem volt más magyar nyelvű szakirodalmi, így a hidrodinamika első magyar nyelvű forrásmunkái voltak.

Ebben az évben van az ötvenedik évfordulója annak, hogy az igazán intenzív számítástechnika oktatás megkezdődött Magyarországon a mérnök- és vízmérnök képzésben. 1970-ben adták át a BME Építőmérnöki Kar ODRA 1204-es számítógépét, ami lehetővé tette, hogy a történelemben először minden vízmérnök szakos hallgató saját feladatokat oldjon meg számítógépen, saját programokat írjon és azokat számítógépen lefuttassa. Ettől kezdve számíthatjuk a hidrodinamika oktatásának és alkalmazásának igazi hazai történetét. Kozák professzornak úttörő szerepe volt abban, hogy a vízmérnöki tanszékek hazai és nemzetközi vonatkozásban is az elsők között kezdték meg az intenzív számítástechnikai oktatást. A számítástechnika alkalmazásának a víztudományok területén több jelentős első hazai eredménye is a vízmérnöki tanszékeken született. A hidraulikai és hidrodinamikai modellezés területén Kozák Miklós vezetésével alakult ki egy nemzetközileg is elismert számítástechnikai műhely.

A számítógépek vízmérnöki alkalmazásának történetében hazai és nemzetközi viszonylatban is nagy jelentőségű, úttörő munka volt Kozák Miklós könyve a szabad felszínű nempermanens vízmozgások számításáról digitális számítógépek felhasználásával (1977). Könyvéért Akadémiai díjat kapott. A nempermanens vízmozgások számításának gyakorlatában a digitális számítógépek megjelenése egy új korszak kezdetét jelentette. A nempermanens vízmozgások vizsgálatához szükséges számítások gyakorlati végrehajtása kézi számítással a nagy munkaigény miatt lehetetlen volt. A könyvben Kozák Miklós a saját és az általa vezetett tudományos műhely tagjai (Bakonyi Péter, Horváth László, Kalina Ernő, Kern János és Rátky István) többéves munkájának eredményeit tette közzé. A könyv kiemelkedő értéke volt az, hogy nemcsak az egyes számítások alapegyenleteit, hanem az egyenletek megoldásának algoritmusait és az azok alapján, Fortran programozási nyelven írt programelemeket (az ún. szubrutinokat) is mellékelte.

Kozák professzor egész életútja alatt nagy energiát fektetett az oktatás fejlesztésébe. Átdolgozta a Hidraulika és a Folyami Vízépítési Műtárgyak tárgyi tananyagát.

Munkatársaival új jegyzeteket készített a Számítógépes Hidraulika tárgykör oktatásához. A Tanszék Laboratóriumában a szemléltető oktatás elősegítése érdekében több hidraulikai modellt épített.

Kozák professzor és a Vízépítési Tanszék mindig tiszteletben tartotta egykori vezetőjét, az 1965-ben emigrálásra kényszerült Mosonyi Emil professzort. Kozák professzor elérte, hogy az MTA kiadója újra megjelentesse

Mosonyi Emil Water Power Development című könyvének átdolgozott, új változatát. A könyv technikai szerkesztői munkáját is elvállalta. Mosonyi professzort az ország engedély nélküli elhagyása miatt 4 év börtönbüntetésre ítélték, ezért nem jöhetett haza Magyarországra. Kevesen tudják, ezért nem jöhetett haza Magyarországra. Kevesen tudják, hogy Kozák Miklós már éveekkel a rendszerváltás előtt, 1986-ban bátor levelet írt a belügyminiszternek, amelyben Mosonyi professzor szabad hazatérésének lehetőségét szorgalmazta. A miniszter azt válaszolta, hogy Mosonyi Emil büntetlenül hazatérhet. Így 21 éves emigráció után, 1986 novemberében jött haza először. A repülőtéren Kozák Miklós a Mosonyi család tagjaival, köztük Antall Józseffel, későbbi miniszterelnökünkkel várta.

A szakmai tevékenységét nyugdíjba menetele után sem hagyta abba. Korától függetlenül ugyanolyan elhivatottan védte a vízmérnököket és a vízmérnöki szakma becsületét, mint aktív egyetemi tanár korában. Munkásságát számos szakmai kitüntetéssel ismerték el. Többek között 1989-ben megkapta az akkor alapított Magyar Köztársaság Emlékéremet. Felsőoktatás Kiváló Oktatója díjat kapott és 2004-ben a Magyar Mérnöki Kamara tiszteletbeli tagjává választották.

Kozák Miklós professzor a magyar víztudományok kiemelkedő egyénisége volt, akinek a legjelentősebb szakmai eredménye a hidrodinamika hazai születésében való, szakmatörténeti jelentőségű közreműködés, a számítógépes hidraulika hazai alapjainak megteremtése, ezen belül a már említett, a nempermanens vízmozgások számítógépes modellezéséről szóló, nemzetközi szempontból is úttörő jelentőségű könyve. A vízépítéstudomány hazai és nemzetközi fejlődése szempontjából is fontos tevékenysége volt a vízépítési tapasztalatok és hibák összegyűjtése és értékelése, és az ezekről a témakörökről szóló könyveinek megírása. Életművének fontos része a vízmérnöki tevékenység, a vízépítési műtárgyak társadalmi jelentőségének bemutatására, az ezekkel kapcsolatos tévhitek eloszlására irányuló fáradhatatlan munkája. Jó intézeti igazgató és tanszékvezető volt, tudományos iskolát teremtett, kiemelkedő tulajdonsága volt az igazságkeresés és az emberségesség.

Az 1950-es évek első felében lett tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak. Az azóta eltelt 70 év alatt a Társaság sokféle tevékenységében vett részt. Szakmai-tudományos munkásságát a Társaság 1965-ben Bogdánffy Ödön-Emlékéremmel ismerte el. 1977-1981-ig a Társaság alelnöke volt.

Az a megtiszteltetés ért, hogy én is írhattam egy életművet, amelyben több helyen utaltam arra, hogy milyen sokat köszönhetek Kozák professzornak. Készültem rá, hogy személyesen elviszek neki egy példányt. Fájó szívvel értesültem arról, hogy sajnos erre már nem kerülhet sor. A könyvbemutatón ezt írtam a neki szánt példányba:

„Kozák Miklósnak, köszönettel a tanításért, a közös munkák élményéért és a barátságért”.

Nagyszerű tudós, tanár és EMBER volt. Örizzük meg az emléket!

*Dr. Ijjas István Professzor Emeritus
a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének volt vezetője
a Magyar Hidrológiai Társaság korábbi elnöke*

