

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 98. ÉVF. 1. SZÁM • 2018
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 98. NO 1. • 2018



A LEGJOBB MEGOLDÁSOKAT AZOK TALÁLJÁK MEG, **AKIK ODAFIGYELNEK**

*Ne bízza az öntözést akármilyen
búvárszivattyúra!*

Az öntözésnek döntő szerepe van a jó termés-
hozam elérésében, de ez az egyik legnagyobb
kiadást is jelenti a mezőgazdaságban.
Szeressen jó pontot az ügyfeleinél azzal, hogy egy
olyan szivattyút kínál nekik, amely csökkenti az
energiaköltségeket anélkül, hogy veszélyeztetné
az értékes termést.

Az Ön szakmai tapasztalata és a mi tesztelt és
bevált szivattyúink között nincs semmi, ami
akadályozhatná a legeslegjobb megoldások
alkalmazását.

Nézze meg a Grundfos öntözési portfólióját itt:
grundfos.com/submersible-solutions

be
think
innovate

GRUNDFOS 





Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

Főszerkesztő:

Fehér János

Szakszerkesztők:

Ács Éva
Konecsny Károly
Nagy László

Szerkesztőbizottság elnöke:

Szöllösi-Nagy András

Szerkesztőbizottság tagjai:

Ács Éva, Baranyai Gábor, Bezdán Mária, Bíró Péter, Bíró Tibor, Bogárdi János, Csörnyei Géza, Engi Zsuzsanna, Fehér János, Fejér László, Fekete Balázs, Gampel Tamás, Gayer József, Hajnal Géza, Ijjas István, Istvánovics Vera, Józsa János, Kling Zoltán, Konecsny Károly, Kovács Sándor, Major Veronika, Melicz Zoltán, Nagy László, Rákosi Judit, Rátky István, Román Pál, Szabó János Adolf, Szilágyi Ferenc, Szilágyi József, Szlávik Lajos, Szolgay János, Szűcs Péter, Tamás János, Vágás István, Vekerdy Zoltán

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:

Gampel Tamás, a Magyar Hidrológiai Társaság főtájtára
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.
Telefon: (1)-201-7655 Fax: (1)-202-7244
Email: fotitkar@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

Tartalomjegyzék

Fehér János: Előszó	3
Áder János Köztársasági Elnök beszéde a 8. Víz Világforumon .	5
TÖRTÉNELMI PILLANATKÉP	
Fejér László: Egy dedikáció háttere	7
SZAKCIKKEK	
Kozák Miklós: Vízlepcsők üzembe helyezése utáni rendellenességek, okaik, elhárításuk és tanulságaik	8
Szigyártó Zoltán: Javaslat a vízszinttartással működő árvízi szükségeltározó-rendszer üzemeltetésére	15
Liptay Zoltán: Jégmegjelenés előrejelzése a súlyozott középhőmérsékletek elve alapján a Duna hazai szakaszára ..	25
Nagy Judit, Kiss Tímea, Fiala Károly: Hullámtér-feltöltődés vizsgálata az Alsó-Tisza mentén. II. Folyóhátak (parti hátak) feltöltődését befolyásoló tényezők	33
Farkas-Karay Gyöngyi, Hajnal Géza, Steffen Birk, Vasvári Vilmos: Nemlineáris áramlás próbaszivattyúzásokban jelentkező hatásának numerikus vizsgálata	40
Szinetár Márton Miklós, Csáki Péter, Keve Gábor, Gribovszki Zoltán: Változó klimatikus viszonyok hatásai a vízházartási mérlegre - Esettanulmány a Bácsbokodi-Kígyós vízgyűjtőjén	50
Kun Ágnes: Intenzív halnevelő telepről származó elfolyóvíz öntözésre való alkalmasságának vizsgálata	60
Csitári Bianka, Szabó Attila, Bedics Anna, Becker Barbara, Korponai Kristóf, Boros Emil, Vörös Lajos, Somogyi Boglárka, Felföldi Tamás: Adatok a szikes tavaink nitrogénforgalmában feltételezhetően szerepet játszó planktonikus baktériumok megismeréséhez	71
FÓRUM	
Az MTA Vízgazdálkodás-tudományi Bizottság Vízellátás és Csatornázási Bizottságának állásfoglalása	77
Prof. Dr. Zsuffa Istvánra emlékezünk	78
KÖNYVISMERTETÉS	
Nagy László: Gátszakadások a Kárpát-medencében. Gátszakadások kialakulásának körülményei	81
Dobos Irma és Scheuer Gyula: Néhány jelentős hazai és külföldi gyógyvíz hidrokeiemiája	82

Címlap fotók:
Víz Zsigmond, Duna Múzeum,
Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (bal alsó)



Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society
Published quarterly

Editor-in-Chief:

János FEHÉR

Assistant Editors:

Éva ÁCS
Károly KONECSNY
László NAGY

Editorial Board Chairman:

András SZÖLLŐSI-NAGY

Editorial Board Members:

Éva ÁCS, Gábor BARANYAI, Mária BEZDÁN,
Péter BÍRÓ, Tibor BÍRÓ, János BOGÁRDI, Géza
CSÖRNYEI, Zsuzsanna ENGI, János FEHÉR,
László FEJÉR, Balázs FEKETE, Tamás GAMPEL,
József GAYER, Géza HAJNAL, István IJAS,
Vera ISTVÁNOVICS, János JÓZSA, Zoltán KLING,
Károly KONECSNY, Sándor KOVÁCS, Veronika
MAJOR, Zoltán MELICZ, László NAGY, Judit
RÁKOSI, István RÁTKY, Pál ROMÁN, János
Adolf SZABÓ, Ferenc SZILÁGYI, József
SZILÁGYI, Lajos SZLÁVIK, János SZOLGAY,
Péter SZÜCS, János TAMÁS, István VÁGÁS,
Zoltán VEKERDY

Publisher:

Hungarian Hydrological Society
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary
Tel: +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:

Tamás GAMPEL, Secretary General of the
Hungarian Hydrological Society
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary
Phone: +36-(1)-201-7655. Fax: +36-(1)-202-7244
Email: fotitkar@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
Speech of János ÁDER President of the Hungarian Republic at the 8 th World Water Forum	5
HISTORICAL SNAPSHOT	
László Fejér: The background of a dedication	7
SCIENTIFIC PAPERS	
Miklós KOZÁK: Irregularities and their causes, prevention and lessons learnt after putting dams into operation	8
Zoltán SZIGYÁRTÓ: Operation of emergency flood retention reservoir system working with perpetuated flood levels	15
Zoltán LIPTAY: River ice occurrence forecast based on the theory of weighted mean temperature on the Hungarian section of the Danube River	25
Judit NAGY, Tímea KISS, Károly FIALA: Floodplain aggradation along the Lower Tisza. Part II: Natural levee formation and its influencing factors	33
Gyöngyi FARKAS-KARAY, Géza HAJNAL, Steffen BIRK, Vilmos VASVÁRI: Numerical analysis of the effect of nonlinear flow on pumping tests	40
Márton Miklós SZINETÁR, Péter CSÁKI, Gábor KEVE, Zoltán GRIBOVSKY: Effects of the changing climatic conditions on the water balance - Case study on the Bácsbokodi-Kígyós watershed	50
Ágnes KUN: Reuse of effluent water of intensive fish farm for irrigation purposes: Assessment of water quality	60
Bianka CSITÁRI, Attila SZABÓ, Anna BEDICS, Barbara BECKER, Kristóf KORPONAI, Emil BOROS, Lajos VÖRÖS, Boglárka SOMOGYI, Tamás FELFÖLDI: Data regarding the planktonic bacteria with potential role in the transformation of nitrogen compounds in soda pans in Hungary	71
FÓRUM	
Statement of the Water Supply and Sewerage Committee of the Water Resources Management Committee of the Hungarian Academy of Sciences	77
Prof. Dr. István ZSUFFA is remembered	78
BOOK REVIEW	
László NAGY: Levee breaches in the Carpathian Basin. Formation conditions of levee breaches	81
Irma DOBOS and Gyula SCHEUER: Hydrogeochemistry of some major domestic and foreign medicinal waters	82

Cover page photos:

Zsigmond VIZY, Danube Museum

Middle Tisza District Water Directorate (lower left corner)

Előszó



2018 első negyedének kiemelkedő vízügyi eseménye volt a március 18-23. között Brazília fővárosában, Brazíliavárosban megrendezett 8. Víz Világforum. A Világforum megnyitó plenáris ülésén felszólalt Ader János, Magyarország köztársasági elnöke, aki az ENSZ és a Világbank Csoport által összehívott Vízügyi Elnöki Testület (VET)

tagjaként, a VET által elkészített zárójelentés bemutatója alkalmából beszélt a zárójelentés fő üzeneteiről. Első cikként — a Köztársasági Elnöki Hivatal hozzájárulásával — közöljük a beszéd teljes szövegét, valamint a cikk végén megadjuk a *Minden csepp számít: Vízügyi cselekvési program* című VET zárójelentés magyar nyelvű hivatalos szövegének internetes elérhetőségét is.

A köztársasági elnöki beszédet követően a mostani lapszám — követve a 96. évf. 1. száma óta kialakított struktúrát — négy fő részből áll: Történelmi pillanatkép, Szakcikkek, Fórum és Könyvismertetés.

Fejér László rovatvezetőnk ismét jelentkezik egy rövid történelmi pillanatképpel, amiben ismerteti Vedres Istvánnak, a reformkor kiváló mérnökének a Duna-Tisza csatorna megvalósítására készült tervét tartalmazó könyve fordulat történetét. A könyv sorsán keresztül bepillantást kaphatunk a magyar vízgazdálkodás történetének egy kicsi, de érdekes fejezetébe.

A jelenkori vízgazdálkodás több területét érintő tudományos cikkek közlünk a Szakcikkek részben. Elsőként örömmel jelentjük meg, a 90-es éveiben is még mindig aktív Kozák Miklós műszaki egyetemi professzor cikkét, amelyben sok évtizedes szakmai tapasztalata alapján ad áttekintést a vízlépcsők üzembe helyezése után megfigyelt rendellenességekről, azok kiváltó okairól, elhárításuk lehetőségéről és a levont tanulságokról.

A második cikk szerzője, Szigyártó Zoltán címzetes egyetemi tanár, a VITUKI volt osztályvezető tudományos tanácsadója, napjaink egyik fontos árvízvédekezési stratégiai kérdéséről értekezik, nevezetesen, hogyan lehet a vízszinttartással működő árvízi szükségeltározó-rendszer üzemeltetését tudományosan megalapozottan és helyesen megvalósítani.

Míg 2018 januárja az elmúlt évtizedek egyik legmelegebb átlagos hőmérsékletű januárjának bizonyult, addig a február több, szélsőségesen hideg nappali maximum és éjszakai minimum rekordot hozott. Befagyott a Balaton és jégzajlás kezdődött a folyókon. Ebben a témakörben íródott Liptay Zoltán cikke arról, hogyan lehet a jégmegjelenést előre jelezni a súlyozott középhőmérsékletek elve alapján a Duna hazai szakaszára.

Farkas-Karay Gyöngyi és társai egy fejlett numerikus számítási eljárást mutatnak be a nemlineáris áramlás próbaszivattyúzásokban jelentkező hatásának vizsgálatára. Tapasztalataik alapján megállapítják, hogy a nemlineáris

áramlás igen jelentősen befolyásolhatja a felszín alatti vizek vizsgálatára a gyakorlatban alkalmazott próbaszivattyúzások adatait, és ennek figyelmen kívül hagyása a valóságtól eltérő vizadó-paraméterek megállapítására vezethet.

Szinetár Márton Miklós és társai korszerű módszer alkalmazásával vizsgálták a változó klimatikus viszonyok hatásait a vízháztartási mérlegre a Bácsbokodi-Kígyós vízgyűjtőjének példáján. Megállapították, hogy a prognosztizált növekvő hőmérséklet és csökkenő csapadékértékek mellett, a területi párolgás értékében a század végéig körülbelül 4,5%-os növekedés, míg a felszíni lefolyás esetében számottevő (-40%) csökkenés várható.

Kun Ágnes egy szarvasi intenzív halnevelő telepről el folyó víz alkalmasságát vizsgálata abból a szempontból, hogy miként lehet alkalmas mezőgazdasági öntözési célra.

A hidrobiológiával foglalkozó cikkeket általában a Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztálya, a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) Ökológiai Kutatóközpont Balatoni Limnológiai Intézete és az MTA Veszprémi Területi Bizottsága által évente megrendezésre kerülő Hidrobiológus Napok rendezvény különszámaként szoktuk közölni. Csatári Bianka és társai cikke, amely szikes tavaink nitrogénforgalmában feltételezhetően szerepet játszó planktonikus baktériumokkal foglalkozik. A cikk sajnálatos félreértés miatt kimaradt az előző évi különszámából, így most közöljük. Vizsgálataik alapján megállapították, hogy a Zab-szék és Sós-ér vizében a kemolitotróf nitrifikáló baktériumok mennyisége csekély. Vélhetőleg a szikes tavak vizének nagy nátriumtartalma gátló hatással van ezekre a szervezetekre. Tenyésztéses vizsgálatuk során döntő többségben a *Bacillus* és rokon nemzetségekhez tartozó törzseket sikerült izolálnunk, annak ellenére, hogy tízféle táptalajt is felhasználtak.

Fórum rovatunk két anyagot is tartalmaz. Elsőként a Magyar Tudományos Akadémia Vízgazdálkodás-tudományi Bizottság Vízellátási és Csatornázási Bizottságának ajánlását közöljük. A Bizottság 2017 decemberében előadólésen foglalkozott az Ivóvízminőség-javító Program megvalósulásának tapasztalataival. Az elhangzott előadások, valamint az azt követő megbeszélés alapján a Bizottság kilenc pontba foglalta ajánlásait az Ivóvízminőség-javító Programmal kapcsolatban.

A hidrológiai kutatás és oktatás néhai kiemelkedő tudósáról közöl „egy abszolút szubjektív megemlékezést” a másik Fórum cikk. Szöllősi-Nagy András egyetemi tanár, lapunk szerkesztőbizottságának elnöke személyes hangvételű írásával emlékezik meg Zsuffa István professzorral, emlékképeket idézve személyes kapcsolatukról, a szakmatörténet egyes pillanatairól, amellyel érzékelteti Zsuffa professzor kiemelkedő szakmai eredményeit és oktatói elkötelezettségét.

Végül két könyvet ismertetünk a mostani számban. Konecsny Károly, lapunk szakszerkesztője írt recenziót Nagy László: *Gátszakadások a Kárpát-medencében*.

Gátszakadások kialakulásának körülményei című könyvről, amely az elmúlt hetekben jelent meg az OVF kiadásában. Az ismertető kiemeli: „a mű értékeit mutatja az óriási mennyiségben feltárt háttéradat, a hozzáértő részletes feldolgozás, és az eredmények sokoldalú és magas színvonalú tudományos elemzése.”

Dobos Irma és Scheuer Gyula: Néhány jelentős hazai és külföldi gyógyvíz hidrokeokémiája című könyvét

Scharek Péter ismerteti. A könyv magánkiadásban jelent meg a Magyar Hidrológiai Társaság támogatásával, a Társaság megalakulásának 100. évfordulójára.

Dr. Fehér János
címzetes egyetemi tanár
a Hidrológiai Közlöny főszerkesztője

Hogyan lehet előfizetni a Hidrológiai Közlöny-t ?

Előfizethető a lap:

1) A Magyar Hidrológiai Társaság internetes honlapján található megrendelőlap kitöltésével.
http://www.hidrologia.hu/mht/index.php?option=com_jellap15&Itemid=209

2) Az alábbi megrendelőlap kitöltésével, majd postán vagy emailben történő visszaküldésével is megrendelhető a Hidrológiai Közlöny.

Magyar Hidrológiai Társaság
1091 Budapest, Üllői út 25.
Tel: (1)201-7655
E-mail cím: hk@hidrologia.hu

Előfizetési díjak 2018-ban:

Cégeknek:

A 2018. évi (98. évfolyam) 1-4. száma: 9600 Ft/év
A különszám cégeknek (Hidrobiológus Napok kiadványa): 2400 Ft/év.

A Magyar Hidrológiai Társaság egyéni tagjainak:

A 2018. évi (98. évfolyam) 1-4. száma: 4000 Ft/év
A különszám egyéni tagoknak (Hidrobiológus Napok kiadványa): 1000 Ft/év

Az árak az 5 % áfát tartalmazzák!

MEGRENDELŐ LAP

A jelen lap kitöltése megrendelésnek minősül, melyről e-mailben küldünk visszaigazolást.

Alulírott megrendelem a Hidrológiai Közlöny c. folyóirat

2018. évi 1-4. számait példányban,

2018. évi különszámát példányban,

és kérem megrendelésemet a következő évekre is folyamatosnak tekinteni.

Név vagy cégnév:

Céges megrendelés esetén kapcsolattartó:

Telefonszám:

E-mail-cím:

A számlát kérem küldjék az alábbi címre:

A folyóiratot kérem az alábbi címre postázni, amennyiben eltér a számlázási címtől:

.....

Megrendelés száma (nem kötelező mező):

Megrendelési szám esetén – amennyiben elektronikusan küldik be a megrendelést - az aláírt megrendelés csatolása pdf formátumban kötelező.

Kelt: , 2018. hó. nap.

A Köztársasági Elnök beszéde a 8. Víz Világforumon

Áder János Köztársasági Elnök beszédet mondott 2018. március 19-én a 8. Víz Világforum megnyitó ülésén, az ENSZ és a Világbank Csoport által összehívott Vízügyi Elnöki Testület jelentésének bemutatóján Brazília fővárosában, Brazíliavárosban.



„Úgy tékoztunk bolygónk kincseit, a levegőt és a vizet, mintha nem lenne holnap, s így már nem is lesz” – írta Kurt Vonnegut 2005-ben.

De a mondatot nyugodtan fogalmazhatjuk jelen időben. Úgy tékozoljuk bolygónk kincseit, a levegőt és a vizet, mintha nem lenne holnap.

Tisztelt Hölgyeim és Uraim!

Az ENSZ főtitkára és a Világbank elnöke 2 évvel ezelőtt kért fel 12 politikust, hogy tegyenek javaslatokat: miként lehet a vízre vonatkozó fenntartható fejlődési célt elérni. Milyen problémákkal nézünk szembe? Min kell változtatnunk? Milyen döntéseket kell hoznunk?

A mára elkészült jelentés fő üzenetei, amint az imént lejátszott videofilmen is láthatták, hogy a víz élet és halál kérdése. Mostantól nem vehetjük adottnak, hogy van elég vizünk. A vízválság nem a jövő, hanem a jelen. Ha a vizes fenntarthatósági cél elérésében nem leszünk sikeresek, akkor a további célok elérése is reménytelenné válik. Hogy ezt elkerüljük, meg kell változtatni gondolkodásunkat.

Az adatok – amelyekből az iménti videó is felvillantott néhányat – drámai képet mutatnak. 5 emberből 2 a Földön már ma is vízhiányos régióban él. 2,1 milliárd ember kénytelen szennyezett vizet fogyasztani. 4,5 milliárd ember (az emberiség 2/3-a) szennyvizének kezelése nem megoldott. A szennyvíz 80 százaléka ma is tisztítatlanul kerül vissza a természetbe. Az 1990 óta bekövetkezett 1000 legpusztítóbb természeti katasztrófa 90%-a a vízzel függött össze.

A 2050-re vonatkozó prognózisok pedig még riasztóbb képet mutatnak. 2050-re az emberiség fele vízhiányos területen él majd; az elsivatagosodás 1 milliárd ember életét nehezíti meg; a vízzel összefüggő katasztrófák száma, mértéke és az okozott kár drámaian nőni fog.

A feladvány, amit meg kell oldanunk: egyre kevesebb egy főre jutó vízből, egyre rosszabb minőségű termőterületen, egyre több embert kell ellátni elegendő vízzel és elegendő ételmiszerrel – miközben a klímaváltozás további meglepetéseket tartogat a számunkra.

Tisztelt Hölgyeim és Uraim!

Napjainkban a szemünk láttára bontakozik ki a víz drámája.

A kevés víz drámája. Gondoljunk csak Fokvárosra vagy az elmúlt években Kaliforniát sújtó aszály következményeire.

A sok víz drámája. A képeken tavalyi katasztrófák fotóit láthatják Kínából, Japánból, Peruból.

A szennyezett víz drámája. A képeken az ipari szennyezés, a kezeletlen kommunális szennyvíz és a műanyagszennyezés pillanatfelvételei követik egymást.

Talán további érveket és képeket nem kell bemutatni ahhoz, hogy belássuk, az az út, amin eddig közlekedtünk, a jövőben már nem járható.

Mi az a másik út, amit mi javasolunk?

1. Az eddiginél jobban meg kell értenünk, hogy mi a víz szerepe egy fenntartható világ létrehozásában. Helyes választ kell adnunk arra a kérdésre: mi a víz valódi értéke?

2. A víz használatára vonatkozó döntéseknél integrált rendszerek kialakítására kell törekedni. Mielőbb át kell térni a tudományos tényekre alapozott vízgazdálkodásra.

3. A határon átnyúló vízkészletekkel való gazdálkodás közös felelősséggel jár. Az emberiség 40 százaléka osztott vízgyűjtő területen él. Elengedhetetlen, hogy a közös folyókat, tavakat használó országok mielőbb megállapodjanak a közös vízhasználatról, a szennyezés megelőzéséről, és létrehozzák a végrehajtáshoz szükséges intézményi feltételeket. Mindez a regionális konfliktusok elkerülésének is előfeltétele.

4. A legfontosabb és egyben legolcsóbb a megelőzés. Minden vízforrást – folyók, tavak, vízgyűjtők – meg kell védeni a szennyezéstől.

5. A víz a gazdaság hajtóereje. Ha jól gazdálkodunk vele, hosszú távon is a jólétet gyarapítja. Ha rossz döntéseket hozunk, növekedés helyett 2050-re a világ különböző régióiban akár 14%-os GDP-veszteséggel is számolhatunk.

6. Egy vízbiztos világ kialakításához jelentősen fejlesztенünk kell az infrastruktúrát. Az utóbbi 200 évben gyakran úgy építkeztünk, hogy ezzel legyőzzük a természetet. Ma már látjuk, hogy jobban járunk a „mérnöki” és

a „zöld” infrastruktúra ötvözésével.

7. A vizet használó vállalatoknak és a tevékenységüket finanszírozó bankoknak fel kell tárnuk, hogy beruházásaik milyen hatással vannak a vízkészletekre.

8. Az eredményes megelőzés és a hatékony védekezés új pénzügyi konstrukciókat is kíván. Nem elég elszigetelt befektetésekben gondolkodnunk, hanem az egyes beruházások egymásra gyakorolt hatásának kihasználásával új fejlesztési pályákat kell kialakítanunk.

9. 5 éven belül meg kell duplázunk a vízügyi befektetéseinket, majd ezt kb. évi 600 milliárd dolláros szintre kellene tovább emelni. Ilyen mértékű tőkebevonás csak akkor lehetséges, ha jelentősen javítjuk a víz- és szennyvízgazdálkodást végző cégeink működését, a szektor szabályozását és az innovációk befogadásának feltételeit.

10. Kulcskérdés a víz hatékony felhasználása. A legkülönbözőbb iparágak a bányászattól a textiliparig rengeteg vizet igényelnek. Olyan innovációkra van szükség, amelyek a vízfelhasználás hatékonyságát növelik, a szennyezést pedig minimálisra csökkentik. A legnagyobb vízfelhasználó a mezőgazdaság. Nincs technológiai akadály annak, hogy az agrárium vízhasználatának hatékonyságát akár 2-3-szorosára emeljük. Hatékonyabb öntözési technológiák nélkül számos országban belátható időn belül kimerülnek a kutak, s a növénytermesztés ellehetetlenül.

11. 2050-re a Föld lakóinak háromnegyede városlakó lesz. A fenntarthatósági fordulat sikere jórészt a városokban fog eldőlni. A soha nem látott mértékű urbanizáció a vízellátás és a szennyvízkezelés szempontjából teljesen új technológiákat, decentralizált megoldásokat kíván. A körforgásos gazdaság elképzelhetetlen a víz városokon belüli újrahasznosítása nélkül.

12. A VET szerint mindezen célok eléréséhez nélkülözhetetlen nemzetközi intézményeink működésének javítása is.

Tisztelt Hölgyeim és Uraim!

A víz drámáját eddig félvállról vette a világ. A közös cselekvés azonban nem halogatható tovább. A VET jelentését a világ minden vezetője megkapta. A jelentés üzenetei remélhetően a média csatornáin keresztül mindenkihez eljutnak, és mindenkit cselekvésre ösztönöznek, mert – ahogy jelentésünkben is fogalmaztunk – a víz valóban élet és halál kérdése.

Történelmi pillanatkép

Fejér László, a Magyar Hidrológiai Társaság tiszteleti tagja, a Hidrológiai Közöny rovatvezetője bemutatja Vedres Istvánnak, a reformkor kiváló mérnökének a Duna-Tisza csatorna megvalósítására készült tervét tartalmazó könyvet, melyet jelenleg a Magyar Mezőgazdasági Múzeum és Könyvtár őriz.

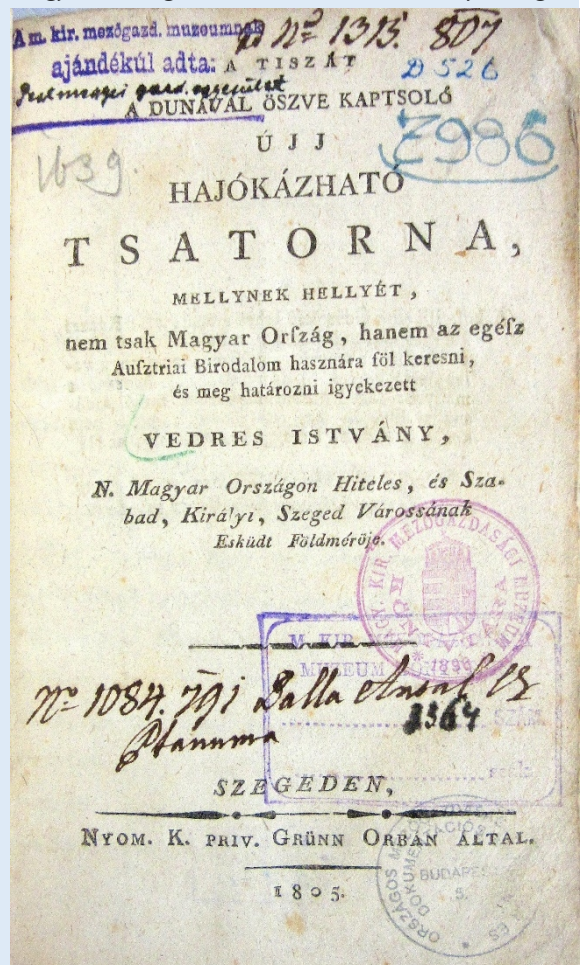
Habent sua fata libelli (A könyveknek is megvan a maguk sorsa)

A Duna–Tisza csatorna gondolata az elmúlt évszázadokban gyakran - mint egy tengeri kígyó - fel-felbukkant a gazdaságfejlesztő tervek tengeréből. 1805-ben, a napóleoni háborúk idején jelent meg Szegeden „*A Tiszát a Dunával össze kaptsoló újj hajókázható tsatorna, mellynek helyét, nem tsak Magyar Ország, hanem az egész Ausztriai Birodalom hasznára, föl keresni és meg határozni igyekezett Vedres Istvány N. Magyar Országon Hiteles, és Szabad, Királyi, Szeged Várossának Esküdt Földmérője*” c. könyvecske.

A szerző, Vedres István a későbbi reformkor kiváló mérnöke volt, aki nem csak műszaki alkotásaival írta be magát a hazai technikátörténetbe, hanem sikeres gazdálkodóként a kor jeles mezőgazdasági szaktekintélyeivel (Tessedik Sámuel, Kisszántói Pethe Ferenc, Rummy Károly, Festetics György gróf, Vay Miklós báró) is szoros levelezési kapcsolatban állt. Fenti munkájára is ez a gazdasági szemlélet nyomta rá bélyegét. Vedres nem csak egy műszaki tervet tett le az asztalra, hanem a csatorna megépítésével a mezőgazdasági termények szállítási költségeinek csökkentésére, ezáltal a többtermelés kifizetődő voltára hívta fel a figyelmet. Munkájának szóban forgó példányát a következő dedikációval látta el: „*Tekintetes Nemes Pesth Vármegyének különös tisztelettel ajánlja Maga a Szerző Vedres István/yl*”. Azt nem tudni, hogy a többi vármegyének is megküldte-e? No, nem mind a 64-nek, de az érintettek tekinthetőknek? Mindenesetre Pest megye azért is érdekes ebből a szempontból, mert az általa elgondolt csatorna dunai végpontját Pest városa jelentette volna, míg a tiszai csatlakozást természetesen Szegedre irányította. A vármegye hivatalnokai (könyvtárosa, levéltárosa – nem tudni!) a kötet belső címlapjára akkurátusan ráírta „*N^o 1084. 791. Balla Antal úr Plánuma*”. Valóban, az 1790. évi országgyűlésen szó esett a Duna–Tisza-csatornáról, s akkor Balla Antal Pest vármegye mérnöke – a vármegye megbízásából – 1791-ben le is tett az asztalra egy Pest-szolnoki csatorna tervet. Vedres, munkájának egyik lábjegyzetében, meg is emlékezett erről. Azt is írta, hogy a dunántúli megyék urai nem nagyon lelkesedtek a tervért, mert attól tartottak, hogy az olcsón szállítható alföldi gabona le fogja verni az ő terményeik árát.

Mindenesetre a könyvet 1807-ben leltározták és megkapták első leltári számát: 1313. Következő tulajdonosa a vármegye pártfogását élvező, s 1886-ban újraalakult Pestmegyei Gazdasági Egyesület lett, s ők ajándékozták a becses könyvet a megalakuló M. kir. Mezőgazdasági Múzeumnak. A múzeumi könyvtár sok helyről kaphatott könyvet, mert az ajándékozás tényét egy múzeumi bélyegző tanúsítja, amelyre csak a Múzeum nevét vészték annak idején, s az ajándékozó nevét tollal írták a kihagyott részre.

A könyv története azonban itt még nem ért véget, mert egy újabb stempli szerint 1953-ban a Mezőgazdasági Könyvtár és Dokumentációs Központ (OMgK) gyűjteményébe került. Ezzel beléptünk a permanens átszervezések könyvtári vándorútjára, aminek felsorolása reménytelen vállalkozásnak tűnhet, ha valaki elolvassa a könyvtár honlapján (<http://www.omgk.hu/>) a szervezet történetét szegélyező intézményváltozások sorát. Végezetül mondhatnánk azt is, a kör bezárult, mert az OMgK 2015-től egyesült a Magyar Mezőgazdasági Múzeummal, s most a kis könyvecske a Magyar Mezőgazdasági Múzeum és Könyvtár megbecsült darabjaként 19740-es leltári szám alatt pihen a raktárban.



Vízlepcsők üzembe helyezése utáni rendellenességek, okaik, elhárításuk és tanulságaik

Kozák Miklós

a Budapesti Műszaki Egyetem nyugalmazott tanszékvezető egyetemi tanára (e-mail: kozak.miklos8@upcm.hu)

Kivonat

A Kiskörei vízlepcső vízerőművét 1974-ben helyezték üzembe. Két hónapi üzemeltetés után, az erőmű alvizében, örvénylés, mély meder erózió keletkezett, és a partburkolat is megrögygint. A legmélyebb meder erózió elérte a 11 métert. Az erőmű üzembe állt, és felmérték az erózió területét. Az erózió oka, hogy a meder anyaga homok volt, és az alvízi öblözetet helytelenül alakították ki. A tervezők az erodált területet fel akarták tölteni. Véleményem szerint a meder így újból erodálódni fog. Feltöltés helyett, az egész erodált területre, többféle, (30 cm sóder, 20 cm zúzott kő és 1 m köterítés), medervédelmet javasoltam. A javaslatot elfogadták, és így építették meg. A Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet (VITUKI) rendszeresen ellenőrizte az erodált terület alakját, és az 1976 óta stabil.

Kétévi üzem után, egy másik meghibásodás is történt. Bizonyos okokból, víztelenítették a műtárgy 2. és 3. pillérek alvizeit. Azt észlelték, hogy a duzzasztómű alvizének, a kopóbetonja 110 m² területen felszakadt és lesodródott az alvízi mederbe. Ennek oka, hogy az alapbeton túlságosan vízáteresztő, azt vízzárává tenni nem lehet, ugyanakkor a kopóbeton vízzáró, ezért az alapbeton és a kopóbeton között jelentős (8 t/m²) felhajtóerő keletkezett. A gyengén vasalt kopóbeton, a felhajtóerő hatására darabokra tört, és lesodródott az alvizbe. Új, erősen vasalt kopóbetont terveztünk, és azt behorgonyoztuk és alapbetonba. A felhajtó erő csökkentésére, a két betonréteg közé új szivárgó rendszert terveztünk. Egy évi üzemeltetés közben ellenőriztük az új kopóbetont és a szivárgó rendszert, mindkettő tökéletesen üzemelt.

Kulcsszavak

Vízlepcső, meder erózió, partburkolat, meder, szivárgás, felhajtó erő, kopó beton, vasbeton, behorgonyzás, meder védelem, többféle szűrőágyazat, örvény, forgás, partvonal, szerkezeti elrendezés, rétegvonal, adalék anyag.

Irregularities and their causes, prevention and lessons learnt after putting dams into operation

Abstract

The hydroelectric power plant of the Kisköre Dam was put into operation in 1974. After two months of operation, in the tail water of the power plant, vortex, deep bed erosion occurred and the paved bank also sagged. The deepest bed erosion reached 11 meters. The operation of power station was stopped, and the erosion area was surveyed. The erosion was due to the fact that the bed material was sand and the downstream bay was wrongly shaped. Designers wanted to fill up the eroded area. In my opinion, it would erode again. Instead of filling up, I proposed for the entire eroded area, a multi-layered (30 cm sand-and-gravel, 20 cm macadam and 1m rip-rap spreading) river bed protection. The proposal was accepted and it was constructed. The Water Resources Research Institute (VITUKI) regularly checked the shape of the eroded area, and it has been stable since 1976.

After two years of operation, another failure occurred. For some reasons, the downstream water section between 2nd and 3rd pillars were dewatered. It was found that the abrasion concrete of the downstream bed of the dam was torn up on a surface of 110 m² and washed into the downstream section. The reason of it was that the foundation concrete was too permeable and could not be made watertight. However, the abrasion concrete was watertight, therefore a significant (8 t/m²) buoyancy power occurred between the foundation concrete and the abrasion concrete. The poorly ironed abrasion concrete broke into pieces by the effect of buoyancy power and washed down in the river bed. A new, heavily ironed abrasion concrete was designed and it was anchored into foundation concrete. To reduce the buoyancy force, we designed a new leakage system between the two concrete layers. During one year of operation, the new abrasion concrete was checked, and it was found that the abrasion concrete and the leaking system worked perfectly.

Keywords

River barrage, bed erosion, embankment covering, bed, filtration, uplift power, hard wearing concrete, ironed concrete, anchoring, bed protection, multi layered filter, whirlpool, rotation, structural arrangement, layered level, additional material.

BEVEZETÉS

Számos műszaki létesítménnyel kapcsolatban előfordulhatnak tervezési, építési és üzemeltetési rendellenességek, azaz hibák, melyek tanulságainak hasznosítása, műszaki ismereteink gyarapítása szempontjából elemi kötelességünk. Egyre nyilvánvalóbb, hogy a mérnöki képesség, nemcsak az egyetemi alap, alapozó és szaktantárgyak ismeretétől, hanem *egész életünk során szerzett tapasztalatok hasznosításától is függ, ezért továbbképzésünk legfontosabb eszköztárai, a tapasztalatok gyűjtése és hasznosítása*. A meghibásodások nem csak a főműtárgy, hanem az azt védő szerkezeti elemek hibáiból is történhetnek. (Kozák és Hamvas 1989). Ilyenek: a műtárgy körüli

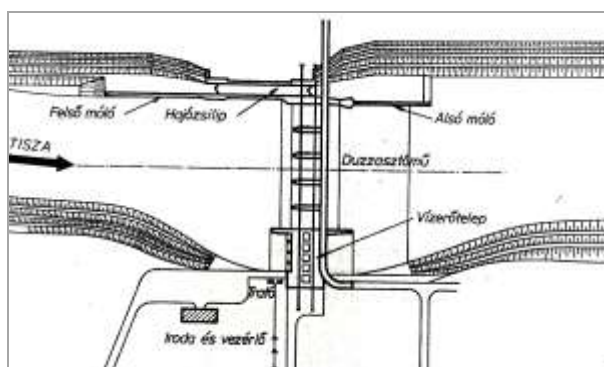
részsűk, partok állékonyságát biztosító burkolatok, az oldalsó szárnyfal bekötések, amelyek kisműtárgyaknál is lényegesek a műtárgyak körüli szivárgást korlátozó Larsen (acél) vagy vasbeton részfalak, a létesítményt védő különleges (pl. kopóbeton) szerkezeti elemek stb.

Alábbi tanulmányomban néhány olyan esetet ismertetek, melynek létesítményei sorsdöntőek a Tiszántúl és Körösök völgyének vízgazdálkodásában. Az ott felmerült rendellenességek megoldásában egykori Tanszékem is részt vett, és ezeknek a tapasztalatoknak a hasznosítása máshol is érvényesek lehetnek. Amikor „hibákról” beszélünk, senki ne gondoljon felelőtlenségre. Emberek va-

gyunk, akik tévedhetünk is, különösen egy nagyobb létesítmény tökéletes, hibamentes megvalósításában.

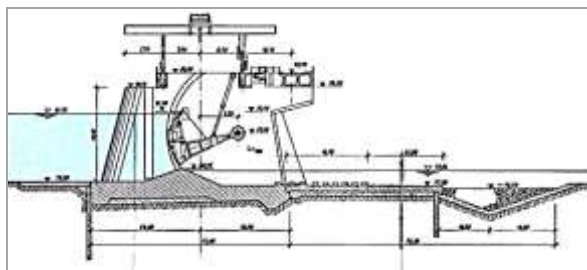
A KISKÖREI VÍZLÉPCSŐ

A vizsgált vízlépcső egy duzzasztóműből, vízierőtelepből és hajószilipből áll. (1. ábra). A vízierőtelepben 4 db, egyenként $Q=140 \text{ m}^3/\text{s}$ vízhozam nyelésű, vízszintes tengelyű csőturbina van. Az erőmű üzemének alapvető jellemzője a *csúcsüzem*, amikor az *alap vízhozam* kb. 10-20 perc alatt – a kezdeti, akár $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$ -ról $Q=560 \text{ m}^3/\text{s}$ -ra növekedhet. Ennek következtében az alvívben *gyorsan változó, nem permanens áramlás* alakul ki, mialatt a felvízben kisebb vízszintülledés, míg az alvívben nagyobb vízszintemelkedés keletkezik. Lényeges megjegyezni, hogy a létesítmény medrének anyaga finom homok, az erőtelep csúcsüzeme és egyoldali elhelyezése következtében az alvívben az *áramlás aszimmetrikus*.



1. ábra. A vízlépcső alaprajzi elrendezése.
(duzzasztómű, vízierőtelep, hajószilip)
Figure 1. Layout of the Kisköre Dam
(barrage, power house, navigation lock)

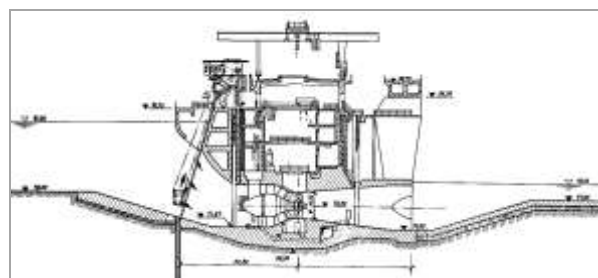
A duzzasztómű hosszmetsete, az utófenékkal és az alvízi meder védelméül szolgáló 23 m hosszú, ék alakú, durva kőhányással a 2. ábrán látható. Az alaplemez 41 m, míg az utófenék az ék alakú kőhányással együtt 71 m hosszú, felső és alsó végét 20 m hosszú vasbeton résfal zárja le. Az utófenéken *energiatörő fogak, energiatörő kockák vannak, majd ezt egy sík utófenék, követi, aminek végét egy 15 m mélységű vasbeton résfal zárja le, ami után egy 23 m hosszú kőszórás van. Az alsó mederszakasz burkolatlan volt. A vízierőtelep turbinán keresztüli hosszmetsetét a 3. ábra mutatja be.*



2. ábra. A duzzasztómű pillérek közötti metszete
Figure 2. Cross section of the dam between two piers

A turbinák fenékszintje, 5,4 m-el mélyebben, a 71,6 m Af-i szintről indul és lineárisan, 23 m hosszon emelkedik fel a 77 m Af-i mederfenék szintjére. A turbina szívócsövéből az alvízbe áramló víz, a konfúzorszerűen szűkülő betonburkolaton *felgyorsulva áramlik* tovább, míg a fenékvonal az alvízi mederfenékhez kb. 25 fokos iránytöréssel

csatlakozik a 3 m mélységű mederhez. Az alvízi rész (résfal, kőszórás) szerkezeti kialakítása azonos volt a duzzasztóműével. A műtárgyat biztonságosan mélyen, szárnyfalakkal kötötték be az oldalsó földműbe. Az 1. ábrán jól látható, hogy az vízierőtelep alvízi öblöztében, az áramlás irányát megtörő részsű, erőszakosan beelöng az áramlási térségbe (1. kép). A part vonalvezetése korán megtöri az áramlás irányát, és elősegíti a műtárgyhoz közelebb hozni a forgó kialakulását. A részsű lábát kőhányásból, míg a partot védő részsűt, *rakott kőburkolattal* látták el. A tervezett műtárgyra torzított méretarányú kisminta kísérletet végeztek, mellyel ellenőrizték a műtárgy áramlási viszonyait, és javaslatot adtak a létesítmény egyes méreteire. A tervező ennek figyelembevételével készítette el a kiviteli tervet.



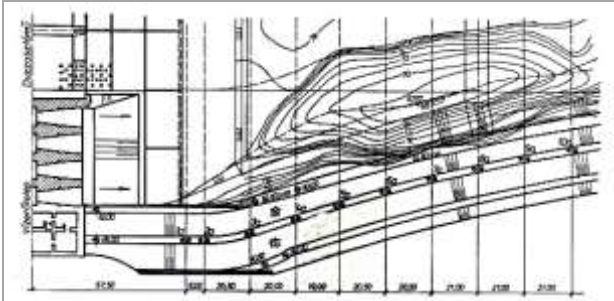
3. ábra. A vízierőmű pillérek közötti hosszmetsete, az alvíz részleges kialakításával
Figure 3. Longitudinal section of the dam between two piers, with partially developed tailwater section



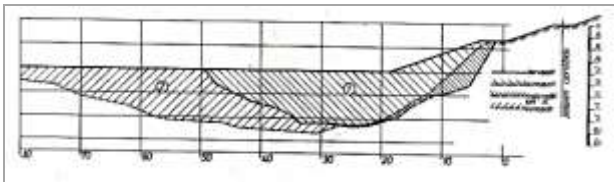
1. kép A vízierőmű jobb oldali, alvízi eróziója
Photo 1. Erosion on the tailwater, right side of the barrage

Két hónappal a vízierőtelep próbaüzeme után az erőmű alvízi öblöztetének részsűburkolata megroggyant. (1. kép). Azonnal elrendelték a próbaüzem leállítását és a vízlépcső alvízi térségének felmérését (amit a VITUKI műtárgy diagnosztikai csoportja végzett el.). Ennek eredménye, hogy az erőmű alvízében jelentős kiterjedésű, hosszú forgó és kimélyülés (erózió) keletkezett, melynek mélysége elérte a 11 m-t (4. és 5. ábra), és kezdte megbontani a burkolatot is. Tervező az előbbi körülmények és felmél-

rési adatok ismeretében a Vízépítési Tanszék az alábbi kérdésekkel kereste fel: 1) az erőmű öblözetének süllyedése és az alvíz utáni erózió miért alakulhatott ki; 2) a mélyedés feltöltése megfelelő lesz-e; és 3) a vízlépcső biztonságos üzemeltetését milyen rekonstrukcióval lehet elérni. A válaszokra a helyzetet, tervet és a medererózió okait kellett elemezni.



4. ábra. A forgó által erodált meder mélységi rétegvonalas ábrája - a duzzasztómű föléli nézet - (VITUKI 1974-es mérése alapján)
Figure 4. Depth contour lines of the vortex eroded riverbed (VITUKI measurement in 1974)



5. ábra. Keresztszelvény az erózió legmélyebb helyén
Figure 5. Cross section at the deepest location of the erosion

Az erózió okai a felmérésekből és a terv elemzése alapján, a következő okokkal magyarázható. A vízerőtelep alvízi öblözetének vonalvezetése nem optimális. Az 1. képen is jól látható, hogy az alvíz vonalvezetése hamar beszűkíti az öblözetet, mert beelöng az intenzív áramlás térségébe. Az alvízi öblözet beszűkítését ajánlatosabb minél távolabbra helyezni a fő műtárgytól, de a forgó okozta kimélyülés, alluviális medrekben kialakuló aszimmetrikus áramlások esetében – a meder védelme nélkül – nem kerülhető el. A vízerőtelep aszimmetrikus elhelyezkedése, az ezzel járó egyenlőtlen sebességeloszlású áramlás, és az alvízi öblözet kialakítása elősegítette, hogy az alvízben egy nagyméretű függőleges tengelyű hosszú forgó alakuljon ki. Ez hozta létre az erózió egyik alapvető feltételét. A medererózió másik oka a mederfenék durva köterítékes burkolatának és a rézsúlábzatának, nem megfelelő ágyazat. A terveken be van jelölve egy ismeretlen szerkezetű ágyazat, a tervező azt mondta, hogy a burkolat és a rézsúlábzat durva köterítését egyrétegű ágyazatra terítették rá. Minden esetre a medermélyülés oka döntően, az aszimmetrikus áramlás mellett, a kőszórás és a partburkolat alatti nem megfelelő szűrő-védő ágyazat kialakítása és az alvízi medernek az utófenékhez történő nem megfelelő áramlástan kapcsolata lehetett. Csúcsüzem idején a turbinákból az alvízbe áramló nagysebességű (kb. 2,5 m/s) aszimmetrikus áramlás elérve a kőburkolatot, a kövek közötti hézagokon keresztül kialakult örvénylések szinte akadálytalanul hatolhattak le a finomszemcsés mederanyagig, melyet fokozatosan megbontottak. Az intenzív örvénylés hatására felgyorsult a homokos altalaj eróziója és a kövek foko-

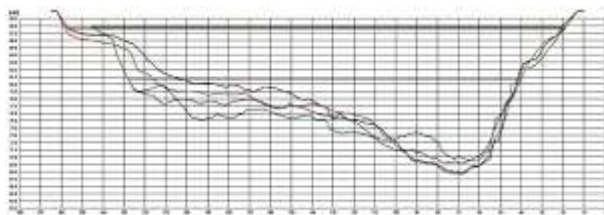
zatosan lesüllyedtek, ill. helyzetük átrendeződött. A forgó térségében a védtelen mederanyag (finom homok) természetesen erodálódott, az új áramlási viszonyoknak megfelelően. *Hiba volt, hogy a kőszórás alatt nem volt többretegű szűrő-védő ágyazat* (ennek igazolását ld. később). Ezen kívül, az erőtelep utáni mederfenék szintjét is, legalább 1-2 méterrel mélyebbre lehetett volna tervezni (ld. később).

A partvonalnak a kisminta kísérletekkel javasolt kialakítása is elősegítette a nagyméretű forgót, és fokozatos közeledését a műtárgyhoz. *Az alvízi öblözet áramlástanilag helyes kialakítása, növelte volna az erőmű hatáskörét is.* Végül az eróziót segítő hatás a sebességek igen gyors, helyi- és idő menti változása is, mert csúcsüzemkor, a szívócsőből nagysebességgel (kb. 3 m/s) az alvíz felé áramló víz erózió képessége jelentősen (felére) csökkenthető lett volna, ha az alvízi meder mélyebb és a turbina szívócsővéből kiáramló víz áramvonalasan, és nem iránytöréssel áramlik tovább az alvízi mederbe. (3. ábra) Erre a kisminta kísérleteknél kellett volna javaslatot tenni (ld. később). A tervező ezért nem felelős.

A MEDERERÓZIÓ MEGÁLLÍTÁSA ÉS STABILIZÁLÁSA

A tervezők elképzelése az volt, hogy az egész erodált területet feltöltik, (ld. a 4. ábrán a tervezett mederfenék feltöltést), ami igen költséges és megint bizonytalanná válhat a meder stabilitása, mert a forgó azt újból erodálja. De az erodált forgó sem hagyható védelem nélkül, mert annak helyzete – a változó áramlási körülmények következtében – idővel vándorolhat. Az erőmű és duzzasztómű biztonságos üzemeltetésére, a burkolat, illetve a kőszórás pótlására, a feltöltés helyett a következőkben állapodtunk meg. A kimélyülést nem kell feltölteni (Kozák és Sabathiel 1978), mert az abban tározott nagytömegű víztest, hatékonyabban csökkenti a turbinákból kiáramló nagysebességű áramlást, melyet egyenletesebb sebességeloszlással továbbít az alvíz felé. Emellett, a feltöltés költséges és az alább javasolt megoldás megbízhatóbb.

A kimélyült eróziós felületre előbb, egy 30 cm vastagságú sóder, majd erre 20 cm vastagságú durva (5-10 cm) zúzott kőszórás leterítésében állapodtunk meg. A kivitelező feladata a terítések egyenletes vastagságának biztosítása, amit a kimélyülés legmélyebb pontjától kell indítani. Végül 1 méter vastagságú durva kőszórás legyen a fedőréteg. A munkálatokat így hajtották végre, a meder azóta is stabil. Újabb eróziót már évtizedek óta nem észleltek, amit a VITUKI rendszeres évenkénti felmérései is igazoltak (6. ábra). A rekonstrukció utáni mederfelmérések is azt igazolták, hogy a rekonstrukciót feltöltés nélkül hajtották végre, és az alvízi meder lényegében már 40 éve stabil. (A pár dm-es mélységi eltérésnél vegyük figyelembe a kőhányás köveinek méretét). A többretegű ágyazat mederstabilizáló hatása növelhető, ha a köterítés hézagaiba kevés durva zúzott (5-10 cm) követ szórunk, és így a kövek hézagaiba besüllyedve már itt megkezdődik az örvények diszperziója. Alluviális medreknél ajánlatos, hogy a meder stabilitását hosszirányban is biztosítsuk, amit a kőszórás után, előbb egy kb. 10 m hosszú zúzott köterítéssel, majd egy 10 m hosszön közvetlenül, sóderté- rítéssel lehet elérni.



6. ábra. Az alvízi kimélyülés évek óta alaktartó
Figure 6. Deepening at the tailwater section

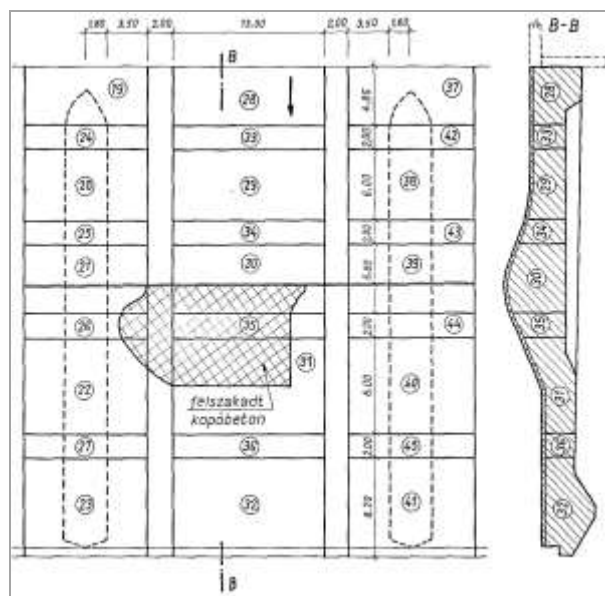
A kedvezőtlen meder erózió idején éppen egy hasonló modellkísérletet (*Körösladány*) végeztünk Vízépítési Tanszék laboratóriumában. A duzzasztómű kisebb méretű volt, vízerőmű nélkül, de a meder anyaga ugyanaz volt. A sebesség lokális értékei elérték az 1,4 m/s értéket. Az alvízi medret itt is homokos altalajra terített 1,5 m vastag kőszórással tervezték megoldani. Az előzőekben ismertetett tapasztalatok és a modellkísérletek eredményei alapján, tervváltoztatásban egyeztünk meg, melynek lényege: ott is 30 cm vastag homokos kavics (sóder) alapra, 20 cm vastag durva zúzott kőréteg, majd erre 1 m vastag kőszórást kell ráteríteni. A tervet így hajtották végre. Azóta több mint 40 év telt el és a vízlepcső hibátlanul üzemel. A kétrétegű szűrőágyazat tehát jól bevált. A durva kőszórás után még ajánlatos további medervédelem, hogy a létesítményt elhagyó víz egyre kisebb édességű mederben áramoljon tovább.

Hasonló alvízi medererózió már egyszer előfordult. A folyó is ugyanez, a műtárgy pedig hasonló volt (*Tisza-lök*). Erre is készült kisminta kísérlet. Az erőmű üzembe helyezése után, ott is igen gyorsan kialakult a medererózió, melynek legnagyobb mélység kb. 8 m volt. Akkor, azt állapították meg, hogy az erózió oka a rövid utófenék. Az erózió másik oka az, hogy az utófenéket követő kőszórás alatti nem megfelelő az ágyazat. A rekonstrukció során rőzsepaplannal takarták le az egész erodált alvízi medret, melyet kőszórással terheltek le. Ez több mint 60 évvel ezelőtt történt, az alvízi meder azóta is stabil. A tervet utólag tanulmányozva azonban, a medererózió egyik oka az utófenék nem eléggé hatékony energiatörő képessége. Hiányoznak a hatásosabb energiatörő elemek (sugarterelő, energiatörő bordák, kockák). Emellett, a csúcsüzem okozta egyenlőtlen sebességeloszlás miatt, itt is érvényesek az előzőekben ismertetett tények. A tanulság, hogy a folyókon épített műtárgyak esetében, a méretarányukban torzított modellekből kapott eredmények nem minden paraméter tekintetében megbízhatóak. Ettől függetlenül, az egyes műtárgyakra elvégzendő kisminta vizsgálatok elengedhetetlenek, mert azok, a műtárgyak megfelelő áramlási kialakítása tekintetében nélkülözhetetlenek (l. később).

A KOPÓBETON FELSZAKADÁSA

Kisköre üzembe helyezése után, 2 év múlva adódott egy másik rendellenesség: a kopóbeton felszakadása, (ami ritkán fordul elő). Az 1976-os év téli üzem biztosításához – itt nem részletezett okok miatt – szükségesé vált a 2. és 3. pillérek közötti térség víztelenítése. Ekkor megdöbbenve vették észre, hogy a kopóbeton, mintegy 110 m²-nyi területen felszakadt és eltűnt (7. ábra és 2. kép). Dr. Hegedüs Lajos, az illetékes vízügyi igazgató felhívott, hogy azonnal menjek le és Tanszékünk állapítsa meg, mi

lehet a hiba oka, és készítsünk egy rekonstrukciós tervet az eredeti állapot biztonságos helyreállítására. Az építési körülményekről, az építési munkanapló alapján tájékoztottunk.



7. ábra. A kopóbeton 110 m² felületen felszakadt (duplán sraffozott rész). Az alap és kopóbeton felosztásának betontömbjei a 2. és 3. pillérek között

Figure 7. The abrasion concrete was torn up on a surface of 110 m² (double hatched part). The partitioning of base and abrasion concrete blocks between the 2. and 3. pillars

Az alapbeton építése úgy történt, hogy az alaplemez közérfogó pilléreket és az alaplemez mezőt 2-2 m-es szélességű süllyedési-zsugorodási munkahézagokkal részekre osztották (7. ábra).



2. kép. A felszakadt kopóbeton helyszíni felvétele, melyen jól látható, hogy az alapbeton durva adalékanyaggal készült, és a kopóbeton elvált az alapbetontól

Photo 2. Photo of teared abrasion concrete and showing that the foundation concrete was made of coarse additive material and the concrete abrasion separated from the concrete foundation

A nagyobb méretű vasbetonok betonozása a zsugorodási feszültségek miatt csak tömböknél végezhető el. Vasbetonlemez szerkezeteknél a nagyobb betontömböket is munkahézagokkal osztják meg, és a tömbök közötti hézagokat utólag betonozzák be. Az egyes betontömbök statikai együtt dolgozása miatt, a tömbök betonvasalásá-

nak folytonossága érdekében, a deszka vagy panel zsaluzat helyett, sűrű dróthálós-zsaluzatot, és kötegvasalást alkalmaznak, és a munkahézagokat utólag betonozzák be. Ez történt ennél a műtárgynál is. (7. ábra). A duzzasztómű alaplemeznének felső felületére, az alapbeton védelmére, különösen az alvízben, a téli jégzajlásos üzem miatt is, egy 30 cm vastag különleges adalékanyagú vasalt kopóbeton védőréteget terveztek, melyet a szerkezeti betonnal közel egy időben építettek. (Kozák és Hamvas 1989). Az esetet Dr. Hamvas Ferenc kollégámmal együtt vizsgáltuk, és a helyszíni szemlének során lementünk a víztelenített területre, ahol a következőket tapasztaltuk.

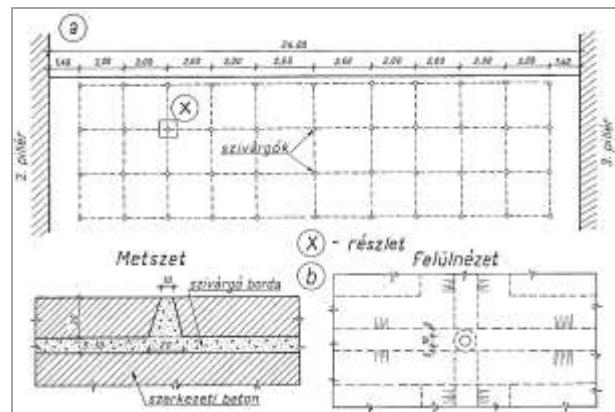
A vízzáró kopóbeton felszakadt és lesodródott az alvízbe, csak egyetlen betondarabot találtunk, (aminek később, szilárdsági és vízáteresztő képességi tulajdonságait is megvizsgáltuk). A még megmaradt kopóbeton 2-3 cm-re elvált a szerkezeti betontól (2. kép). Az alapbeton frakció összetételéből hiányzott a finomszemcsék alkotta habarcs, ami növelte volna annak vízzáró képességét. A kopóbetont gyengén, $\varnothing 8$ mm -es betonvasalással 20x20 cm hálózattal, és csak 4x4 méterenként a szerkezeti betonba kötötték be, ezért ezek a fel- és alvízszint különbségtől függő (kb. 8 t/m²) felhajtóerő hatására, az egész kopóbetont elválasztották az alap betontól és valószínű, hogy a kopóbeton réteg egyszerre, robbanásszerűen szakadhatott fel és darabokra törve sodródott le az alvízbe. A helyszínen látottakból, a tervdokumentációból és az építési munkanaplóból, tönkremenetel okai, egyértelműen a következők:

- A szerkezeti betontömbök és a munkahézagok határfelületén intenzív szivárgásokat észleltünk. Mivel a kopóbeton vasalása, bekötése nem megfelelő, és tekintettel arra, hogy a téli jégzajlás súlyos károkat (töréseket) okozhatna, nem tartottuk biztonságosnak, hogy a többi nyílásban, a még esetleg fel nem szakadt kopóbetonba, csak szivárgó fészkeket építsenek. A létesítmény hosszú távú biztonsága fontosabb. Az alapbeton durva adalék anyaggal és kevés habarccsal készült, ezért az alapbeton nemcsak erősen vízáteresztő lett, de az oldalsó hálós zsaluzatán a finomhabarcs nagy része kifolyt, és ott is, erősen vízáteresztő alapbeton készült (2. kép), ami esetünkben a felfelé irányuló szivárgás intenzitása és a kopóbeton aljára ható felhajtóerő miatt, problémát jelent.
- Az alap és a szerkezeti beton erőtan bekötési kapcsolata nem elégséges, mert az alulról átszivárgó és a szerkezeti és kopóbeton között kialakult víz felhajtó ereje, ami a pillérek közötti egész alaplemezsre, a vízszint különbségtől függően, akár 4000 tonna is lehet, ezért azt felszakította.
- A gyengén vasalt, de erősen vízzáró kopó betonréteg kedvezőtlen szerkezeti, erőtan méretezése és hidraulikai tulajdonságai miatt, annak felszakadása elkerülhetetlen volt.

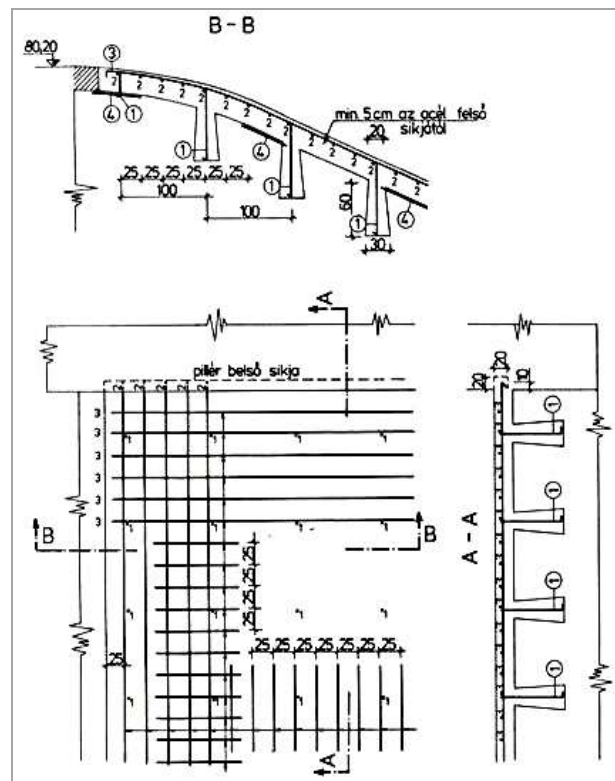
A KOPÓBETON HELYREÁLLÍTÁSÁNAK ALAPELVEI

A nagytömegű, vastag és erősen vízáteresztő szerkezeti beton vízzáró képességét utólag nem lehet megoldani. A létesítmény hosszú távú biztonságos üzemeltetése érde-

kében az elégtelen vasalású kopóbeton réteget le kell bontani minden nyílásnál, és helyettük újat kell építeni. A rekonstrukcióra a következő megoldást javasoltuk. Az alapbetonon átszivárgó vizet 2x2 m-es hálózatban (előre gyártott) szivárgó, hálózatos drén-bordákkal kell összegyűjteni, és ezt a kopóbetonon áthaladó, és az alvízbe irányuló vízgyűjtő szivárgó fészkekbe kell bevezetni. (8. ábra), ami megszünteti a felhajtóerőt. A kopóbetont méretezéssel ellenőrzött vasalással terveztünk bekötni az alaplemez fészkeibe (9. ábra). Ennek bekötésére, az alapbetonba 1x1 m-es hálózatban elrendezett, és lefelé kúpos behorganyozó fészkeket terveztünk (9. ábra). Az új kopóbetonnak kiváló minőségű, különleges (bazalt zúzalékos) adalékanyagot írtunk elő.



8. ábra. A szivárgó drén-bordák helyszíni elrendezése és bevezetése a kopóbetonon átvezetett szivárgó testekbe
Figure 8. Layout of drainage "tubes" and their introduction through abrasion concrete into leaking bodies



9. ábra. A kopóbeton vasalása és bekötése az alapbetonba bevészt behorganyozó fészkekbe
Figure 9. Iron assembly and tie up of abrasion concrete into the engraved anchored nests in the concrete foundation

A rekonstrukció után egy év múlva ellenőrzés miatt, újra víztelenítették az alvízi medret, ahol a következőket állapítottuk meg. Az új kopóbeton biztonságos, stabil és a szivárgó kúpok felülete gyöngyözött az átszivárgó víztől. Ezután a vízlépcső valamennyi nyílásának kopóbetonját felbontották, és helyükre a már bevált megoldás szerint, azokat újjá építették. Az alapbetonba bevéselt lehorganyozó fészkek bebetonozása nem volt problémamentes, mert azok megteltek az alapbetonon átszivárgó vízzel, amit a helyi, vízügyi szakemberek sikeresen, szifonos vízleszívással, megoldottak (szifonhatás). (A Tanszéknek ez a megbízása, éppen a diplomatervezés idejére esett, ezért Dr. Hamvas Ferenc kollégám ezt a témakört adta ki egyik jó képességű diplomatervezőnek. Munkájuk nagyon sikeres volt, és példamutató is arra, hogyan lehet elősegíteni a gyakorlatias mérnökképzést.)

TANULSÁGOK

Az utóbbi években is történtek vízepítési hibák, de sajnos ezek okainak tisztázása elmaradt. Pedig előfordulhatnak újabb súlyos anyagi és személyi károk, amik elkerülése a tanulságok levonása alapján szükséges lenne a mérnökök tekintélyének védelme érdekében és a szakmai dilettantizmus elleni küzdelemhez is. Ennek egyik legutóbbi szomorú példája a kolontári zagytároló gátjának katasztrófája, mely egy egész települést pusztított el, 10 halottat követelve és 100 milliárdos kárt okozva. És ennek már 6 éve nincs felelőse! A TV1 kb. két éve bemutatott egy nagyszelvényű, árvízvédelmi töltésbe szakszerűtlenül beépített átereszt, melyet az árvíz teljesen körbemosott. A képen jól látható volt, hogy az áteresznek nem volt kontúrszivárgás elleni, *szivárgást gátló gallérja*. Az érdekeltek talán még most sem tudják, hogy mik okozhatták az áteresztönkremenetelét. (persze, emellett még számos más hiba is adódhatott).

A Tisza és a Körösök völgyének sikeres vízkormányozásával kapcsolatban azért kell néhány megjegyzést tenni, mert évtizedek óta sem az ágazat, sem annak országgrészt mentő alkotásait nem értékelik a tényeknek megfelelően. Ennek egyik jele, hogy a *Kvassay* tervben *Kisköre* értéke csak a „madár les” és a „zenei fesztivál”. Pedig *Tisza*lök teremtette meg *Kisköre* megépítésének elengedhetetlen szükségességét. Ez a két létesítmény tartja életben az egész *Tisza-völgyet* és a *Körösök* völgyét, ahová kisvizek idején Romániából csak 2-3 m³/s vízhozam érkezik, de mindkét műtárgytól 45-50 m³/s vízhozamot, évente kb. 1 Mrd m³ vízmennyiséget lehet szállítani az aszályos térségbe. *Kisköre Európa legcsodálatosabb, emberi kezek által létesített biorezervátuma és a Tiszántúl üdülő központja is, melynek nincsen párja Európában.* (Furcsa ellentmondás, hogy ennek megépítését a mai „ál zöld” szemlélettel nem engedélyeznék.) *A Tisza-tó a térség Balatonja, ahol olyan, azelőtt nem létezett flóra, fauna, vízi sport, kalandpark, üdülő és horgász paradicsom, felkapott vendéglátó és turista forgalom van, mely százezreknek nyújt boldogabb életet. Külföldi turisták ezrei járnak oda évtizedek óta.* A vízügyek érdekében és a szakmai dilettantizmus ellen, jobban kellene hangsúlyozni, hogy *mi lenne a Tiszántúllal és a Körösök völgyével e létesítmények nélkül.* *Kisköre* meggyőzően bizonyítja, hogy a vízlépcsőzés nem pusztítja – amint azt egyes

zöldek hangoztatják – a környezetet, hanem azt szebbé is teheti.

A 2000. évi súlyos Tiszai ciánszennyezés kártételeinek drasztikus mérséklését *Tisza*lök és *Kisköre* csökkentette le annyira, hogy az akkor dolgozó halászoknak következő évi termelése csak 10%-al csökkent. A VIZIG még a szennyezés előtt ciánmentes vízzel töltötte fel az egész vízkormányozott rendszer valamennyi tározóját és csatornáit. A tározótéren át, annak földméreben levonuló cián szennyezés felgyorsítása céljából, a duzzasztómű gátszerkezetét úgy szabályozták, hogy a ciánszennyezés ne áramolhasson ki a hullámtérre, ahová a halak kimennek. Így a folyó halállományának zöme, a folyó széles hullámtérére menekült.

A csúcsüzemre is járatott vízerőműveknél mind a felvízben, mind az alvízben *vízszintcsökkenés* (a felvízben a csúcsterhelés beindításakor, az alvízben pedig annak leállításakor) alakul ki, amely jelentősen meghaladhatja a folyó megelőző, természetes lefolyási viszonyai mellett kialakult vízszintcsökkenés (apadás) értékeit. A burkolatlan, alluviális medrek partjainak stabilitását, ill. a rézsúk hajlását, a földmű adottságainak megfelelően, döntően az apadás intenzitása befolyásolja. Ezért az ilyen létesítmények partjai rézsúinak állékonyági vizsgálatánál ezzel számolni kell. A burkolattal nem védett partok rézsúi idővel enyhébb hajlásúak lesznek, (*Tisza*lök), a burkolt szakaszon pedig a geotextiliára rakott szűrőágyazatra kerülhet a szilárd védőburkolat

KÖVETKEZTETÉSEK

1. Minden vízepítési műtárgynál gondosan mérlegelni kell az áramlás, a hatóerők, az erózió és a szivárgások lehetőségét, annak hatásait, melyhez a vízepítő mérnöki szemlélet elengedhetetlen. Nagyobb és kisebb vízepítési létesítményeket nagytávlatú, a partok állékonyosságát is biztosító burkolatokat és egyéb szerkezeti elemeket, a biztonsági követelményeknek megfelelően kell kialakítani (*Kozák és Hamvas 1989*). A *többrétegű szűrő-védő ágyazat* különösen nagyobb sebességnél és eróziót kiváltó intenzív áramlásoknál, megkerülhetetlen (vízlépcsők). A meredekebb rézsúknál a *faragott terméskő burkolatok* megbízhatóbbak (*Kozák és Hamvas 1989*), de ezek stabilitásának az is feltétele, hogy a kövek biztonságos felfekvését garantáló *váll-lapok* kellő (8-10 cm) méretűek legyenek (ld. a Zagyva folyó hídfő burkolatának esetét (*Kozák és Sabathiel 1978*)).
2. Alluviális medreknél, még kisebb műtárgyaknál is, a meder érdesség áramlás menti hirtelen változását is kerülni kell, az ne változzon hirtelen a durvábbról (kőhányás után közvetlenül homok), csak fokozatosan csökkenjen a meder érdessége (kőszórás, durva kőzúzalék, sóder).
3. Vízepítési létesítményeket *védő burkolatok* és egyéb védelmi elemek létesítési költségei elenyészőek az egész műhöz viszonyítva, ezért a műtárgyakat védő szerkezeti elemeket hosszú távra kell tervezni.
4. Különös tanulság, hogy a munkahézag erős vízáteresztő képessége most csak az alvízi medernél okozhatott gondot, *ahol volt szivárgási gradiens*. Így a felvízben,

esetünkben, ugyanaz a vízáteresztő munkahézag biztonságos volt. A duzzasztómű mozgó gátszerkezetének átvizsgálásához, a teljes pillérközt vízteleníteni kell, amihez a felvízben és az alvízben is ideiglenes elzárás szükséges. Ilyen esetben a gát és az ideiglenes elzárás közötti alaplemez felületén, a felvízi részen, szivárgással kell számolni (ezt észleltem, a szegmensgát utólagos hegesztésénél is) (*Kozák és Sabathiel 1978*).

5. A vízépítési műtárgyakra vonatkozó kisminta kísérletek elengedhetetlenek. A Tanszék egyik, típus áttereszetre elvégzett laboratóriumi vizsgálatánál kiderült, hogy a tervvel szemben, egy módosítással 35%-al csökkenthető volt a kisműtárgy energia vesztesége. Óvatosságból nem árt, ha a kisminta kísérletek egyes következtetéseit a tervezés óvatosan kezeli, mert a torzított méretarányú mérésekből adódó következtetések nem adnak minden esetre megbízható eredményt (*Kozák 1966*). Ez vonatkozik minden olyan áramlási paraméterre, ahol az áramlás görbe vonalú (kanyarok, áramlási forgók, lokális iránytörések, turbulencia stb.).

A SZERZŐ



KOZÁK MIKLÓS CSc, DSc. Vas diplomás mérnök. Vízépítőmérnöki diplomáját a Budapesti Műszaki Egyetemen (BME) szerezte meg 1951-ben, jeles eredménnyel. 1953-tól aspiráns a BME Mosonyi Emil vezetete tanszékén. 1958-ban kandidátusi fokozatot szerzett, és ebben az évben kinevezték adjunktusnak a BME-n. Kutatási témái az árhullámok hidraulikája. Közelítő eljárást dolgozott ki a hurok görbék számítására. Új képletet vezetett le a lökéshullámok számítására, mely szabadfelszínű és zárt csövekre is érvényes volt. A folyók kanyarulataiban kialakult cirkulációs sebességek számítására explicit képletet dolgozott ki. Megteremtője volt a BME-en, az egyetemi oktatásban a computer hidraulika és a vízépítési hibák tantárgyának. A témákban 5 egyetemi jegyzetet írt. Kertai Edének, az OVH kiadásában megjelent Magyarország nagyobb vízépítési műtárgyai című 3 kötetes (vízlépcsők, folyami és tavi kikötők) monográfiájának főszerkesztője volt. Az Akadémiai Kiadó adta ki „Szabadfelszínű áramlások számítása digitális számítógépen” című könyvét, melyért Akadémiai díjat kapott. Több mint 200 tanulmánya jelent meg, ebből 35 tanulmány idegen nyelven. Főszerkesztője volt Mosonyi Emil professzor három kötetes, 2000 oldal terjedelmű Water Power Development című, angol nyelvű, MTA kiadású könyvének, melyet német és kínai nyelvre is lefordítottak. Számos IAHR kongresszuson vett részt, melyeknek munkájához szekcióvezetőként, választmányi tagként járult hozzá. Tagja volt az IAHR Computer Bizottságának. Hosszú éveken keresztül volt bírósági szakértő is. A Magyar Hidrológiai Társaságnak évtizedekig aktív tagja volt. A Társaság 1965-ben Péch József Emléklappal tüntette ki.

Minden szakvélemény szabatoságának értékét az idő határozza meg!

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szerző köszönetét fejezi ki dr. Bakonyi Péternek a VITUKI volt vezérigazgatójának, valamint dr. Nagy István, dr. Pados Imre és dr. Goda Péter nyugalmazott vízügyi igazgatóknak, hogy értékes tanácsaikkal és megjegyzéseikkel segítették e tanulmány elkészítését.

IRODALOM

Kozák M., Hamvas F. (1989). Folyami Vízépítés. Vízépítési szerkezetek (Egyetemi jegyzet), Tankönyvkiadó, Budapest, Tankönyvi szám: J9-1265. p. 416.

Kozák M., Sabathiel J. (1978). Vízépítési hibák (Egyetemi jegyzet), Tankönyvkiadó, Budapest, Tankönyvi szám: J9-1116. p. 183.

Kozák M. (1966). A geometriai torzítás hatása, a nyílt-felszínű vízfolyások kismintáiban kialakuló áramlásokra. Hidrológia Közlöny 46. évf. 3. sz., pp. 101-109.

Javaslat a vízszinttartással működő árvízi szükségtározó-rendszer üzemeltetésére

Szigyártó Zoltán

vasdiplomás okleveles mérnök, a Magyar Tudományos Akadémia doktora, címzetes egyetem tanár
(E-mail: prof.szigyarto@t-online.hu)

Kivonat

A tanulmány célja annak bemutatása, hogy miként kell üzemeltetni a vízszinttartással működő árvízi szükségtározó-rendszert annak érdekében, hogy az a fellépő üzemelési költségek minimalizálása mellett minél jobban szolgálja a mentett terület védelmét.

A problémának a megoldásával foglalkozva a tanulmány elsőként a tározórendszer általános előírásait foglalja össze; rámutatva arra, hogy a vízszinttartás bevezetésének következtében lényegében egy automatizált üzem működtetését kell megszervezni. Tovább menve foglalkozik azzal, hogy kétfajta, rendes és rendkívüli vízszinttartásos üzemmenet van, s hogy ez az üzem akkor működik rendes üzemmenetben, ha a folyó mentén nem áll elő olyan veszélyhelyzet, melynek hatására az előírt tartott vízszintek módosítására bárhol szükség lenne; míg rendkívüli üzemmenetre akkor kerül sor, amikor ilyen beavatkozásokra szükség van. Ezt követően részletesen tárgyalja a kétfajta üzemmenet esetén szükséges intézkedéseket, s az üzem irányításához szükséges távméréssel és előrejelzéssel kapcsolatos követelményeket.

Míndezeket követően a tanulmány az általános üzemmenet bemutatott előírásaihoz igazodva azt mutatja be, hogy a Tisza Szolnok feletti szakaszán kiépített szükségtározók üzemét miként kell megszervezni. Rámutat arra, hogy az általános előírások betartásával célszerű önálló rendszerként kezelni a Tokaj felett a Tiszán levő két és a Szamoson létesített harmadik szükségtározót, amelyek az északi országhatár és Kisköre közötti, mintegy 340 km-es szakaszon járulnak hozzá az árvédekezés biztonságossá tételéhez. Továbbá ugyancsak külön rendszerként kell üzemeltetni a Szolnok védelmét szolgáló Kiskörei-tározó alatti, három szükségtározóból álló rendszert. Ennek megfelelően a tanulmány mindkét szükségtározó-rendszerre összefoglalja az üzemeltetésükre vonatkozó előírásokat, továbbá foglalkozik a két rendszer irányításához szükséges távmérő rendszer kialakításával és a szükséges előrejelzésekkel.

Végül fontosságára tekintettel a tanulmány bemutatja azt a gondolatmenetet is, melynek eredményeként meg lehet állapítani, hogy az árvízi szükségtározók esetében a vízszinttartás valóban a hatékony üzemirányításának fontos eszköze.

Kulcsszavak

Tisza, Szamos, árvízi szükségtározó-rendszer, vízszinttartásos üzem, automatizált üzem, rendes üzem, rendkívüli üzem, intézkedés, távmérés, előrejelzés.

Operation of emergency flood retention reservoir system working with perpetuated flood levels

Abstract

Our former studies in this subject introduced speciality of this working method (Szigyártó 2015a). They attended with design of emergency flood retention reservoirs (Szigyártó 2015b) and with basic data, which can be used for this purpose in Hungarian circumstances. At last such a procedure was worked out which can be used to determine the perpetuated level by that way the level does not serve the flood safety only, but it minimizes cost of operation i.e. allowing of diminishing costs of investments (Szigyártó and Váradi 2017). By this way only one problem must be solved from the technical problems of this type of reservoirs, namely how to operate these reservoirs system.

This study first summarizes the general instructions concerning the operation of these systems. It points up that, as a result of the perpetuated level, operation of these reservoirs is alike a special automatic system. The paper deals with two types of the run, with the ordinary and extra ordinary operation. It points out that feature of ordinary operation is that when working the system at dangerous situation eventuates which makes necessary to alter the perpetuated levels of reservoirs; further on work is extraordinary when these interventions are necessary. After these the study deals with the necessary dispositions which are peculiar about the two kinds of operations and the telemetric and forecast systems fitting to the requirements of these operation methods.

The study also deals with the institution of operation for the emergency flood retention reservoir system of the River Tisza situated above Szolnok city acting upon the general directions of the operation formerly summarized. It is pointed out that it is expedient to divide these emergency flood retention reservoirs into two systems, one of them situated above Tokaj city together with the reservoir constructed on Szamos River, contributing to the flood safety in a 340 km long Tisza section among the northern frontier of Hungary to Kisköre city, and the second reservoir situated downstream of Kisköre which consists of three emergency flood retention reservoirs and serves first and foremost flood safety for Szolnok city. Hereinafter these parts of study deal with the telemetric and forecast systems, which must be used to these emergency flood retention reservoir systems, as well. At last, regarding its importance, the study introduces that train of thought as well, which results the conclusion: in case of emergency flood retention reservoirs a perpetuated water level for their intake structures is really an efficient resort of governance.

Keywords

River Tisza, river Samos, flood distress reservoir-system, operation with perpetuated levels, automatic operation, ordinary operation, extra ordinary operation, disposition, telemetric system, forecast.

ELŐZMÉNYEK

Már annak is több mint tíz éve, hogy az árvízi szükségtározók vízszinttartó üzemének szabványosítását jóváhagy-

ták (Szigyártó 2005). Azóta pedig – ugyan néhány hosszabb megszakítással, de – folyamatosan foglalkoztunk ezzel az üzemelési móddal, az ezzel kapcsolatos részprob-

lémák megoldásával. Így a vízszinttartásos üzemre jellemző sajátosságok összefoglalása után (Szigyártó 2015a) bemutattuk azt a tervezési módszert, amellyel a folyó valamely szelvényéből vizet kivezető szükségeltározó és vízkivételének vízszállító képessége kialakítható úgy, hogy az árvízi szükségeltározót vízszinttartással üzemeltetve ez az évenkénti nagyvizek szintjét a szükséges mértékig le tudja szállítani (Szigyártó 2015b). Hazai adottságainkhoz igazodva összefoglaltuk azt, hogy ma és a Tisza nagyvízi medrének rendezését célzó munkálatok elkezdése után az ilyen tározók tervezéséhez milyen adatokat lehet használni (Szigyártó 2016). Végül a vízszinttartással kapcsolatban kidolgoztuk azt az eljárást (Szigyártó, Váradi 2017), mellyel egyszerre két célt lehet elérni. Egyrészt el lehet érni azt, hogy a javasolt szintek tartásával a tározó vízkivétele alatti vízfelszín a biztonság szempontjából megfelelő magasságban állandósuljon. Másrészt azt, hogy a vízszinttartás szelvénye alatt kialakuló, általában számottevő hosszszon szükségképpen megszűnjön a gáton folyó védekezés, ami - megfelelő szint tartása esetén - jelentős megtakarításhoz is vezet. Ilyen módon az árvízi szükségeltározókkal kapcsolatban megoldásra váró műszaki feladatok közül már csak egy maradt hátra, a vízszinttartásos üzem üzemeltetési szabályzatának a kidolgozása.

Talán a véletlen játéka hozta aztán úgy, hogy mintegy három éve az Országos Vízügyi Főigazgatóság a „Környezeti és energiahatékonysági operatív program (KEHOP)” keretében tartozó „Az üzemirányítási és monitoring hálózat fejlesztése” elnevezésű munka kidolgozása során maga is foglalkozik az ármentesítés jó néhány ide vágó feladatának a megoldásával. Ezért ezt már a kezdete óta figyelemmel kísértük, s minden olyan esetben, amelynél hasonló részfeladat megoldása volt a cél, törekedtünk a szükséges összhang biztosítására.

Ilyen előzmények után foglaljuk most össze az e téren elért eredményeinket, s mutatjuk be azt, hogy ezek alkalmazása a Tisza mentén létesített szükségeltározó-rendszerek esetében milyen megoldásra vezetne.

A VÍZSZINTTARTÁS SAJÁTÓSÁGAI

Már a vízszinttartásos üzem első kipróbálása alkalmával (a Tiszaroffi-tározó esetében, 2010-ben) nyilvánvalóvá vált, hogy az árvízi szükségeltározó üzemének a megnyitása és leállítás között egy olyan automatikus üzem működik, amely a tározó vízkivételével kapcsolatban a nyitás mértékének az ellenőrzését, az így kapott mérési eredmény értékelését és a nyitás mértéknek a szükség szerinti módosítását. (akár egy célnak megfelelő gépezet felhasználásával, akár pedig emberi beavatkozással) *monoton ismétli* továbbá, hogy az így működő automatikus rendszer igen nagy, ± 1 cm-es pontossággal tudja a folyóban a vízszintet tartani (Szigyártó 2015a). Következésképpen abban az esetben, ha több ilyen tározó rendszerbe szervezve működik, ezek mindegyikével kapcsolatban háromféle utasítás adható: lehet intézkedni a tartandó szintek felől, továbbá utasítást lehet adni a vízszinttartó üzem megindítására és leállítására.

Abban az esetben pedig, ha egy tározó rendszerben az üzem közben tartandó szinteket korábban már körültekintően meghatározták (Szigyártó, Váradi 2017), ezek módosítására utasítást minden különösebb indok nélkül nem célszerű adni, vagyis *nem célszerű a tartott szinten változtatni mindaddig, amíg a folyó mentén valahol olyan veszélyes helyzet elő nem állt, amelynél a folyóból az előírányoztnál több vizet kell kivenni*. Következik ez abból, hogy a tartott szint megemlése a tározó igénybevételel ritkítja, lesüllyesztése pedig ezt gyakoribbá teszi. Így az, hogy a tartott szint gondosan meghatározott magasságától akkor is rendszeresen eltérnek, ha ezt valamilyen vészhelyzet nem indokolja, kétfajta nem kívánatos hatást idézhet elő. Ha a tartott szintet ilyenkor is megemlének, a tározó ritka igénybevétele miatt a védekezés szokásos költségei nem, vagy csak alig csökkennének, s így a tározó beruházásának költségei ugyancsak nagyon lassan vagy egyáltalán nem térülhetnének meg. Akkor pedig, ha a szóban forgó körülmények között a tartott szintet ilyenkor is lesüllyeszténénk, előállhatna az, hogy a tározó idejekorán megtelne, s így megszűnne annak lehetősége, hogy a tározóba - annak elérére, hogy szükség lenne rá - vizet vezessenek.

Természetesen már egészen más a helyzet akkor, ha egy jeves árvíz levonulásakor valahol jégtorlasz alakult ki, vagy valahol a szükségeltározó alatti folyószakaszon a töltés veszélyesen meggyengült, illetve ha valahol a magas vizek a töltést átszakították. Ilyenkor ugyanis már elkerülhetetlenül mérlegelni kell azt, hogy a veszély megelőzésére vagy elhárítására a folyó mentén hol, milyen vízszintre lenne szükség, s ennek kialakítása érdekében a tározók tartott szintjét hol, mikor és mennyire kell lesüllyeszteni vagy megemléni.

AZ ÁRVÍZI SZÜKSÉGTÁROZÓ-RENDSZER VÍZSZINTTARTÓ ÜZEMELTETÉSÉNEK ÁLTALÁNOS ELŐÍRÁSAI

A rendes és a rendkívüli üzem

„Rendes üzemmenet”-nek nevezzük azt az alaphelyzetet, melynél jégtorlaszképződéssel nem fenyegető árhullám levonulása során, a gáton folyó védekezés, továbbá az előírt vízszintek tartásával üzembe állított szükségeltározó-rendszer a folyón levonuló árhullám tetőző szintjét annyira le tudja csökkenteni, hogy az a gátkorona szintjét veszélyes mértékben se közelíti meg.

Ilyen helyzetben tehát utasítást csak a tározók megnyitására, illetve vízkivételük lezárására kell adni; a következők figyelembe vételével: A nyitás feltétele ilyenkor természetesen az, hogy a vízkivétel szelvényében az árhullám szintje elérje a tartandó szintet. Zárni viszont a nyitást követően elvileg bármikor lehet. Azonban gondolni kell arra, hogy a tározó elöntése következtében a mezőgazdaságot ért kár nem függ jelentősen az vízborítás magasságától. Ezért - ha a tározórendszer üzembe állítására szükség van - egy lejjebb levő tározó megnyitására csak akkor kerülhet sor, ha az összes fölötte levő tározó az előírt szintet tartani már nem tudja, s a tározó vízkivételénél a tartandó szintet meghaladó vízszint állandóan emelkedik.

„Rendkívüli üzemmenet”-re akkor van szükség, amikor a tározórendszer rendes üzemmenete mellett a folyó valamelyik érintett szakaszán már nem lehet a mentett területet biztonságosan megvédeni. Nem lehet vagy azért, mert a szóban forgó szükségeltározók szelvényében vagy azok alatt

a jeges árhullám levonulása során keletkezett jégtorlasz a víz szintjét veszélyesen megemeli vagy megemelheti, illetve azért, mert ugyan a szóban forgó tározók vízkivételének szelvényében és azok környezetében semmiféle vészhelyzet nem áll elő, de (esetleg a nyitás időpontjának eltolásával) a folyó egy lejjebb fekvő szakaszának védelme teszi elkerülhetetlenné az oda jutó árhullám magasságának a csökkentését.

Ha a rendkívüli üzemmenetre azért van szükség, mert valahol a folyó mentén *jégtorlasz* keletkezett, és ezért a vízszint előre nem látható módon megemelkedett vagy megemelkedhet, akkor csak egy tennivaló lehet. *A kialakult helyzetet mérlegelve* - vagy azonnal, vagy a jégtorlasz megszüntetése érdekében végzett munkálatokkal egy időben - át kell állni *a lehető legalacsonyabb vízszintek tartására*. Vagyis át kell állni a folyóból a lehetséges legnagyobb vízhozam kivezetésére a következő módon: A kialakult torlasz felett levő első szükségtározótól kezdve lépésről lépésre felfelé haladva, *a tározókat egymás után üzembe kell helyezni*. Az üzem leállítására pedig a jégtorlasz megszüntetését követően, *megfelelő mérlegeléssel kerülhet majd sor*.

Ha a rendkívüli üzemmenetre azért van szükség, mert valahol a folyó mentén, lefelé *igen magas a vízszint, vagy a töltés állapota miatt* alacsonyabb szinteknél is *veszélyes helyzet állt elő, először a közvetlenül a veszélyes hely felett levő szükségtározót kell a lehetséges legalacsonyabb vízszint tartásával* (vagyis a lehetséges legnagyobb vízhozam kivezetésével) *üzembe állítani*. Ezután pedig, a nyitások hatását mérlegelve, *sorban felfelé haladva ugyanígy kell a többi szükségtározót is üzembe állítani*. Majd, ha az erre alkalmas idő elérkezett a körülmények *megfelelő mérlegelésével kell dönteni arról, hogy melyik tározónál mikor, milyen mértékben kell a tartott szintet emelni* (vagyis az elvezetett vízhozamot csökkenteni), illetve a vízsztartást *megszüntetni*. Gondolva persze arra, hogy egy tározó elárasztása (egészen rövid működési időtől eltekintve) menthetetlenül maga után vonja a tározó területén gazdálkodók kártérítés iránti igényének a bejelentését, melynek nagysága csak kismértékben függ a tározóba bevezetett víz mennyiségétől.

Ehhez kapcsolódva kell még megemlíteni azt is, hogy bár a tározórendszerek a rendkívüli üzemmenet bevetése esetén (a körülményektől függően) jelentősen hozzájárulhatnak a helyzet javításához, így általánosságban erről többet mondani nem lehet. Ugyanis az előálló vészhelyzet részleteivel kapcsolatban kialakuló sokfajta lehetőség ellenére az ilyenkor szükségessé váló tennivalók lényegében mindig ugyanazok. Vagyis erről így általánosságban többet mondani még akkor sem lehetne, ha éppen ismernénk annak a folyószakasznak a sajátosságait, amely mentén a veszélyes körülmények esetleg bekövetkeznek. Így a beavatkozás elvárt sikere mindenekelőtt a helyzet helyes mértékelésétől, az éppen szükséges tennivalók sorrendjének és sürgősségének a helyes meghatározásától, s így nagymértékben a döntéshozók és a munkát irányítóinak széleskörű gyakorlati tapasztalatától függ.

Végül célszerűnek látszik még rámutatni arra, hogy a „rendes üzemmenet” és a „rendkívüli üzemmenet” elnevezés jól szemlélteti az ilyen esetekben szükséges tennivalók gyakoriságát. Ugyanis akkor, ha a szükségtározók méretét, vízkivételük vízállító képességét és a tartott szintek magasságát ide vágó javaslatunk szerint határozzák meg (Szigyártó és Váradi 2017), úgy azon évek során, amelyeknél a rendszert legalább egy alkalommal üzembe állították, a tározókat *rendes üzemmenettel* ezen évek mintegy 80%-ában, *rendkívüli üzemmenettel* pedig mintegy 20%-ában veszik majd igénybe.

Üzemzárás

Ha egy árhullám levonulása során az árvízi szükségtározókat üzembe állították, az árhullám levonulása után - a Vízügyi Igazgatóság erre vonatkozó javaslatát figyelembe véve - a felsőbb irányító hatóság utasítást ad az üzemzárásra, melynek elvégzése a szükségtározók vonatkozásában az alábbi három tevékenységi kört öleli fel.

- Amennyiben az árhullám levonulása során valamelyik szükségtározó töltése vagy vízkivétele annyira károsodott, hogy bár ennek helyrehozatala érdekében a szükséges tennivalókat azonnal megkezdték, azt az árhullám levonulásáig befejezni mégsem lehetett, úgy a munkát értelemszerűen annak befejezéséig folytatni kell.
- Ezzel egyidejűleg a védekezés során elfogyott anyagokat pótolni kell. A károsodott eszközöket ki kell javítani, és szükség szerint azok helyett újakat kell beszerezni. Minden helyiséget ki kell takarítani, illetve a szükséges tisztítási munkákat mindenhol el kell végezni és mindenhol rendet kell rakni.
- Végül azonnal hozzá kell kezdeni a szükségtározókkal kapcsolatos tapasztalatok, a velük elért eredmények összegzéséhez és a szükségesnek ítélt javaslatok összeállításához.

E munkálatokkal kapcsolatban - szükség szerint alvállalkozók bevonásával - *nempermanens számításokra támaszkodva meg kell határozni azt is, hogy az árhullám az árvízi szükségtározók üzembeállítása nélkül miként vonult volna le, s ebben az esetben a folyó mentén, s az egyes vízmércék szelvényében mi lett volna a kialakuló tetőzés szintje*. Erre támaszkodva pedig ki kell mutatni, hogy a szükségtározók üzembe állítása miként befolyásolta a tetőző vízállások alakulását.

Gondoskodni kell továbbá arról, hogy a szükségtározók üzembeállítása nélkül számított évenkénti nagyvizek a korábban észlelt nagyvizekkel együtt kerüljenek tárolásra, hogy ezekre az adatokra támaszkodva az évenkénti nagyvizek sorozatait továbbra is vizsgálni lehessen, s így a mértékadó nagyvizek meghatározásához mindkét esetre meg lehessen határozni az évenkénti nagyvizek 1%-os értékét is.

Táv mérés és előrejelzés

Az eddigiiek folyamán, a rendkívüli üzemmenetről szólva, magától értetődő módon többször és elkerülhetetlenül hangsúlyozni kellett azt, hogy a sorra kerülő intézkedések módjáról és idejéről „megfelelő mérlegeléssel” kell dönteni. Ezt a mérlegelést helyezi aztán sokkal biztosabb alapra, ha ezt a megfelelő helyről származó, távmérés

eredményeként rendelkezésre álló adatokra és megfelelő előrejelzésekre támaszkodva lehet megtenni.

Ami a távmérés helyét, továbbá a folyó előrejelzett szelvényét illeti, ez nyilvánvaló módon erősen függ a helyi adottságoktól. Ugyanakkor persze ezekkel kapcsolatban bizonyos általános szempontokat ezek ismerete nélkül is lehet és kell is adni. Ami az előrejelzéseket illeti, ezekkel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy ma már nem csak a vízállás, hanem a vízhozam előrejelzésére is lehetőség van. Továbbá minden olyan szelvénynél, amelytől, mint az ország határain belül levő felső szelvénytől a nempermanens vízmozgás egyenleteinek a felhasználásával előre kívánnak jelezni, feltétlenül a vízhozam távmérésére is be kell rendezkedni. Egy-egy ilyen szelvény tehát mindenképpen kell legyen a nagyobb folyók határszelvényének a közelében. Annak érdekében viszont, hogy a helyzet mérlegelésekor a döntések során ezek adataira biztosan támaszkodni lehessen ezek ellenőrzésére, esetleges felújítására és kalibrálására még bizonyára számottevő időt kell majd fordítani. Ezen kívül még természetesen feltétlenül lesz igény ilyen távmérő állomásra minden olyan szelvényben, ahonnan az alsóbb szakaszokra célszerű előrejelzést adni. Ez állhat elő például olyan esetekben, amikor egy hosszabb folyószakasz fölött van egymáshoz viszonylag közel néhány szükségtározó, s az árhullám levonulása közben a további intézkedések alátámasztására hasznos lenne tudni, hogy ezek együttes működésének a hatására az alattuk levő szakaszon milyen árhullámkép alakul majd ki.

Ami a csak vízállás távmérésére alkalmas berendezéseket illeti, ezek a folyón egy-egy szükségtározó vízkivétele felett és alatt elhelyezve igen jól alkalmazhatók a szükségtározó működésének az ellenőrzésére. Ezek ugyanis folyamatosan láthatóvá teszik azt, hogy a szükségtározóval lehet-e, vagy pedig nem lehet az előírányzott szintet tartani. Mely utóbbinak az oka éppen úgy lehet a nem megfelelő vízszinttartás, mint a folyón oda érkező nagyon nagy vízhozam vagy pedig a tározó nem megfelelő kialakítása; így az, hogy a tározónak nem elég nagy a mérete vagy pedig vízkivételének nem elégséges a vízszállító-képessége. Nyilvánvaló továbbá az is, hogy ha ezeken kívül még a tározókban elhelyeznek egy-egy vízállás-távmérőt, akkor ezek a helyzet még jobb áttekintésére is lehetőséget adnak. Például látható lesz az, hogy bár a szükségtározó a szintet egy ideig előírás szerint tudta tartani, mégis a nagyobb vízmagasságot okozó, nagyobb vízhozamok érkezésekor erre már nem képes, s ilyenkor a tartandó vízszint (a vízkivétel kis vízszállító-képessége vagy a tározó nem elég nagy mérete miatt) el kezd folyamatosan emelkedni. Ha pedig emellett még a tározóban elhelyezett vízszintmérő arról is tudósít, hogy a tározó távolról sincs megtelve, s így a vízkivételt nem zárták be, akkor tudhatjuk, hogy a bajt kizárólag a vízkivétel kis vízszállító-képessége okozta.

Fel kell azonban hívni a figyelmet arra, hogy a tározóban elhelyezett távmérő vízmerce a tározó vízszintjének a magasságáról és a tározó teltségéről megbízható képet csak akkor tud adni, ha hozzá a víz (megfelelő méretű csatornával) a tározóban levő legmélyebb helyi mélyedésből

is oda van vezetve, és a tározóban levő többi ilyen (esetenként meglehetősen nagy) mélyedés egymással megfelelően össze van kötve. Ezen kívül fontos az is, hogy ezeket a távmérő vízmercéket csak az üzem megindulása előtt kiadott figyelmeztetés után helyezték el; mivel ellenkező esetben, a sajnálatos tapasztalatok szerint, ezek onnan előbb-utóbb el fognak tűnni. Vagyis ezeket feltétlenül úgy kell kialakítani, hogy azok a tározóban gyorsan felszerelhetők és leszerelhetők legyenek. Végül feltétlenül hangsúlyozni kell azt is, hogy a folyóban elhelyezett távmérő vízmercék a vízszinttartás szelvényétől kellő távolságra kell legyenek. Ezért - tekintettel arra, hogy a vízszinttartás helye előtti és utáni vízszint magassága közötti különbség a 2,50 m-t biztosan nem éri el - teljesen elégséges, ha a távmérő vízmercét a vízszinttartás szelvényétől felfelé és lefelé) 50 – 50 m-re helyezik el. Végül gondolni kell arra is, hogy a legmegfelelőbb elhelyezett távmérő vízmerce sem használható a tározóba bevezetett vízmennyiség meghatározására akkor, ha magáról a tározóról nem áll rendelkezésre egy megbízható tározási görbe. Ezért, ha esetleg ilyen még nem lenne, ennek elkészítéséről és rendelkezésre bocsátásáról az üzem megindulása előtt feltétlenül gondoskodni kell.

Az elmondottakat áttekintve nyilván szólni kell még arról is, hogy bár e tározók csak felsőbb utasításra helyezhetők üzembe, ez előtt azért még van némi időre szükség ahhoz, hogy a berendezéseket gondosan átnézzék, a felmerülő kisebb hiányosságokat kijavítsák, röviden arra, hogy az üzemre felkészüljenek, s hogy a tározó várható igénybevételéről az azon gazdálkodókat is értesítsék. Erre viszont - abban az esetben, ha a szükségtározó berendezésének az állapotát egyébként is rendszeresen (úgy legalább félévenként) ellenőrzik - bizonyára elég lesz a harmadfokú árvédelmi készütség elrendelése és a levonuló árhullám megérkezése közötti idő.

A VÍZSZINTTARTÁS ÁLTALÁNOS ELŐÍRÁSAI

A vízszinttartáshoz nyilvántartott értékek

Állandóan nyilvántartott értékek

- Az alvízi mérce „0” pontja, M_{a0} ; mBf.
- A felvízi mérce „0” pontja, M_{f0} ; mBf.
- A tározó vízmércéjének „0” pontja, M_{T0} ; mBf.
- A telt tározónak a vízmerce „0” pontja feletti szintje, h_{Tm} ; cm
- A folyó gátkoronájának mértékadó szintje, H_k ; mBf.
- A tározó legnagyobb teltsége (a tározási görbe alapján); $V_m 10^3 \text{ m}^3$.

A nyilvántartott folyamatosan változó értékek:

- A vízkivétel felett 50 m-re a folyóban a vízkivételhez érkező víz szintje, mint felvízszint; h_f cm.
- A vízkivétel alatt 50 m-re a folyóban kialakuló alvízszint h_a cm

amely vízszinttartás kezdete és vége között azonos a folyóban tartott szinttel; h_i cm.

- A tározó vízszintjének magassága a tározó vízmércéjének a „0” pontja felett; h_1 cm.
- A tározó teltsége, $V \text{ m}^3$

- Az i -ik tábla mozgatása után az i -ik tábla zsilipállása; h_{zi} cm.
- A tározóba vezetett vízhozam a zsilipállás mozgatása után; Q_T m³/s.

A vízzinttartás rendes és rendkívüli üzem esetén

A felkészülés

• A szakaszmérnök irányításával a Tisza, a Szamos, a Bodrog a Sajó és a Hernád határszelvényében a folyó határon túli vízgyűjtőjén a vízjárás figyelemmel kísérése. Árhullámok jelentkezésekor azok vízállásának előrejelzése a határszelvénybe. Amennyiben ezen előrejelzések alapján a Tisza mentén árvédekezésre szükség lehet, az előrejelzések kiterjesztése a Szolnokig tartó Tisza szakaszra mindaddig, amíg a vízügyi igazgatóság vezetője ezt szükségesnek tartja.

• Az előrejelzés eredményéről naponta tájékoztatás vízügyi igazgatóság illetékese részére, aki ezt átadja a vízügyi igazgatóság vezetőjének. Amennyiben az első, a második, vagy a harmadfokú árvédelmi készültség elrendelésére, illetve a legfelső árvédelmi szükségtározó megnyitására szükség lehet, erről az *Országos Vízügyi Főigazgatóság* belüli *Országos Műszaki Irányító Törzs* (a továbbiakban *OMIT*) vezetőjének tájékoztatása.

• Az *OMIT* a szükségesnek ítélt további információk beszerzése után - amennyiben erre szükség van - árvédelmi készültségi szinteket elrendeli, illetve a harmadfokú árvédelmi készültség elrendelése esetén intézkedik aziránt, hogy az árvédelmi szükségtározók üzembeállításához az előkészületeket tegyék meg.

A rendes üzemhez szükséges vízzinttartás elrendelése

• Rendes üzemre akkor kerül sor, amikor a folyó mentén olyan rendkívüli esemény (például gátszakadás) nem következik be, amely szükségessé teszi, hogy a már nyitva levő szükségtározó után ne, vagy ne csak a folyón alatta levő szükségtározó vízkivételét nyissák meg.

• Az *OMIT* az illetékes vízügyi igazgatóságoktól szükség szerint beszerzett további információkra támaszkodva a szükségesnek ítélt árvédelmi készültséget, illetve a legfelső árvédelmi szükségtározó megnyitását elrendeli.

• A szakaszmérnök irányításával a megnyitott szükségtározó felvizének, alvizének és a tározóban kialakult vízszintnek, továbbá a távmérő állomások és a tározó vízkivételének a szelvényére előrejelzések adatainak a figyelemmel kísérése és a mért vízszintek alakulásáról a vízügyi igazgatóság vezetőjének rendszeres tájékoztatása.

• Amennyiben a vízszint továbbiakban már nem tartható, (vagyis a tározó teljes zárásával sem lehet megakadályozni az alvz csökkenését, illetve annak teljes nyitásával sem lehet megakadályozni az alvz emelkedését, tehát a $h_a < h_t$, vagy a $h_a > h_t$ folyamatosan előáll) erről a szakaszmérnök a vízügyi igazgatóság vezetőjét és a szükségtározó alatti másik szükségtározó személyzetét irányító szakaszmérnököt azonnal tájékoztatja.

• Amennyiben az alvz emelkedése miatt a vízszint nem tartható a vízügyi igazgatóság vezetőjének intézkedésére (a tározásra kerülő vízmennyiségeket is figyelembe

vevő) számítógépes vizsgálatot végeznek annak meghatározására, hogy szükség van-e az alatta levő másik szükségtározó megnyitására, s ha igen, úgy erre előreláthatólag mikor kerül sor.

• A vízügyi igazgatóság vezetője a kapott és a szükség szerint beszerzett egyéb információkra támaszkodva az előállt helyzetről az *OMIT* illetékését sürgősen tájékoztatja.

• Az *OMIT* az illetékes vízügyi igazgatóságoktól kapott és a szükség szerint beszerzett további információkra támaszkodva elrendeli az újabb szükségtározó megnyitását.

• Az üzemben levő szükségtározó alatti többi szükségtározó üzembe helyezése során minden vonatkozásban az legfelső szükségtározóval kapcsolatos előírások szerint kell eljárni.

Vízzinttartás rendes üzem esetén

A tározók nyitását a folyó legfelső tározójának a nyitásával kell kezdeni akkor, amikor a tározó vízkivétele után, a vízzinttartás szelvényében az árhullám vízállása meghaladja a tartandó vízszintet. Ezt követően a vízkivétel zárószervezetének a mozgatásával kell a vízszintet tartani, és a fölös vizeket a tározóba terelni. Amennyiben utóbb a tározó megtelik, vagy vízkivételének vízszállító képessége már nem elégséges ahhoz, hogy a fölös vizek teljes mennyiségét a tározóba vezessék, a vízszintet tovább tartani már nem lehet. Az alvízszint és ezt követően az alatta levő tározó vízzinttartási szelvényében a vízállás ugyancsak el kezd emelkedni. Ha pedig az árhullám megfelelően nagy, a vízállás ennek a tározónak a vízzinttartási szelvényében is előbb-utóbb meghaladja a tartandó vízszintet, s ennek megfelelően ezt a tározót is meg kell nyitni. És így tovább, mindaddig, amíg a fölös vizeket a lejjebb levő tározókban még el lehet helyezni, illetve már nem jön annyi víz, hogy az alsóbb tározókat is igénybe kelljen venni.

A vízszint tartása

• A vízzinttartásra kiadott intézkedés ismeretében a vízzinttartás akkor kezdődik, amikor a vízzinttartó alvizében a folyó alvízszintjének h_a magassága azonos a h_t -vel, vagyis $h_a = h_t$.

• A szükségtározó vízkivételének szelvényében a zsilipnyitás szabályozásával h_t szint tartása oly módon, hogy $h_t - 2 \leq h_a \leq h_t + 2$ cm legyen.

- A rendes üzemmenet elvileg akkor zárul, ha
 - a tározó zárásával nem akadályozható meg az, hogy a h_a alvz számottevően a h_t alá süllyedjen, azaz, hogy a $h_a < h_t - 2$ cm alvízállás következzen be, vagy
 - át kell állni rendkívüli üzemmenetre.

Amennyiben ez az állapot előáll, ezt az *OMIT*-nak a vízügyi igazgatóság be kell jelentse, s a zárásra vagy (egy várható újabb árhullámra tekintettel) a munka folytatására a javaslatot meg kell tennie azzal, hogy minden lehetséges információt figyelembe véve a zárást az *OMIT* rendeli el.

A rendkívüli üzemhez szükséges vízzinttartás elrendelése és megvalósítása

• A vízzinttartás rendkívüli üzemére akkor kerül sor, amikor a folyón rendes üzemeléssel működő összes

szükségtározó sem tudja megakadályozni azt, hogy valahol a folyó mentén olyan magas vízállás álljon elő, amely veszélyezteti az árvédelmi gát állékonyságát, vagy előidézheti azt, hogy a magas víz a gátat rövid időn belül meghágyja. Vagyis amikor a veszélyt vagy a veszélyeztetett hely fölötti szükségtározók, illetve ott a folyóba torkoló többi folyó szükségtározóinak a lehető legnagyobb megnyitásával, vagy a szokásos, gáton folyó védekezéssel vagy pedig e három lehetőség valamilyen variációjának az alkalmazásával lehet csak elhárítani.

- A rendkívüli üzem bevezetésére a szükséges információk beszerzését követően a vízügyi igazgatóság vezetője az *OMIT* illetékesének ad javaslatot, s a rendkívüli üzemet az *OMIT* rendeli el.

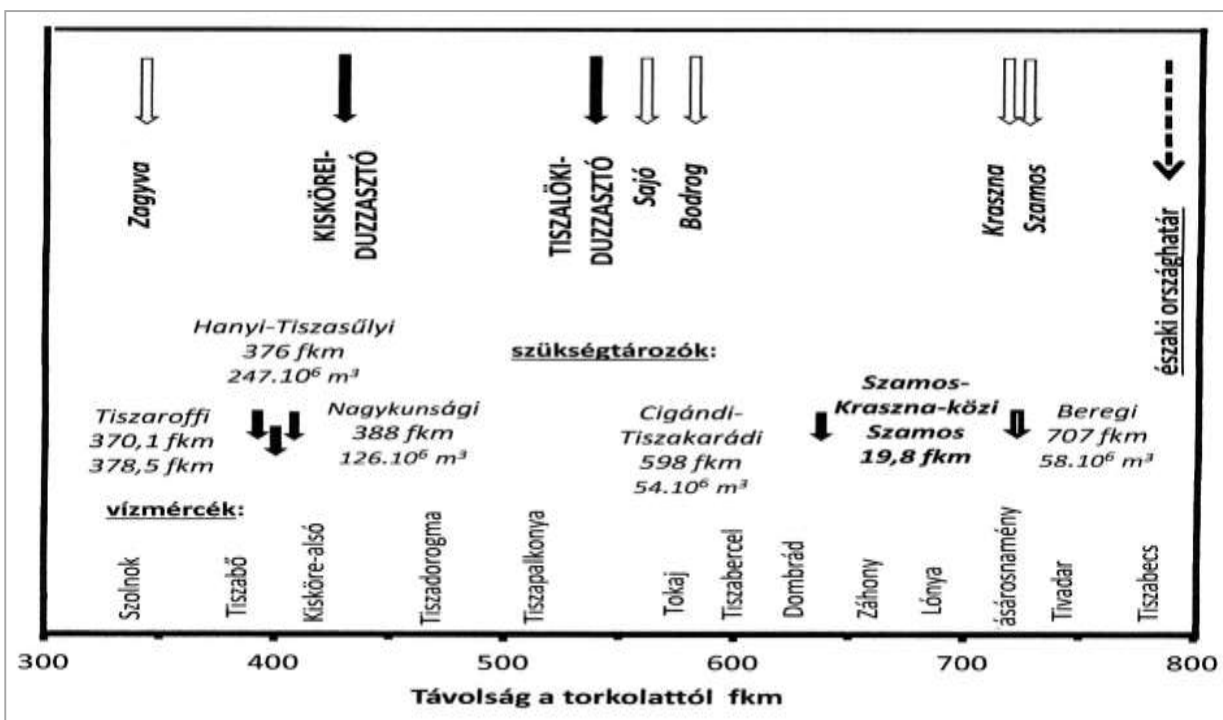
- A rendkívüli üzem során szükséges intézkedésekre (az *OMIT*-el szükség szerint egyeztetve) a vízügyi igazgatóság vezetője rendeli el.

A TISZÁN LÉTESÍTETT SZÜKSÉGTÁROZÓ-RENDSZEREK ÜZEMELTETÉSE

A tározórendszerek kialakítása

Rátérve a Tisza menti szükségtározók üzemeltetésére azzal kell kezdenünk, hogy a Tisza ezen a szakaszán, mint

tudjuk (a Szamoson a torkolatához közel létesült, s így a Tiszán levonuló árhullámokra is számottevő hatást gyakorló tározót is beleszámítva), hat szükségtározó van (*I. ábra*). Ezek közül a Tisza felső szakaszán lefelé, a Szamos torkolatáig van egy, van egy másik a Szamos torkolata és a Hernád torkolata között, és van még három, egymás közelében a Kiskörei-tározó alatt. Továbbá, mint említettük, van még egy szükségtározó a Szamoson is, annak a tiszai torkolatához közel. Ilyen körülmények között a Tisza Tokaj feletti és a Szamos torkolata feletti, összesen három szükségtározó *közvetlen feladata* a Tisza mentett területének védelme az országhatártól a Hernád torkolatáig. A Kiskörei-tározó alatti három, a Nagykunsági, a Hanyi-Tiszaszülyi, és a Tiszaroffi szükségtározó pedig mindenekelőtt Szolnok védelmét szolgálja. Amiből kitűnik, hogy a *Kiskörei-tározó feletti szükségtározók feladata nem csak a Tokaj feletti közvetlen környezetük védelme, hanem ezekre még jelentős feladat vár a Tokaj és a Kiskörei-tározó közötti Tisza szakaszhoz tartozó mentett területek védelme során is*. Vagyis ezekre a szükségtározókra hárul nem csak az északi országhatártól nagyjából Tokajig, hanem Tisza országhatár alatti teljes 340 km-nyi szakaszán az árvédekezés biztonságának a fokozása.



1. ábra. Árvízi szükségtározók a Tisza Szolnok feletti szakaszán és a Szamoson
Figure 1. Flood distress reservoirs along stretch of river Tisza above town Szolnok and along river Samos

Mindez azt jelenti, hogy a szóban forgó szükségtározók üzemeltetésével foglalkozva célszerű külön vizsgálni a Kiskörei-tározó feletti és az az alatti Tisza-szakaszon levő szükségtározó-rendszert. Ezt teszi indokolttá különben az is, hogy a Tiszán, a Kiskörei-tározó alatti három szükségtározó üzembe állítását a Sajón és a Hernádon levonuló nagy árhullámok is szükségessé tehetik; még abban az esetben is, ha a Bodrog torkolata feletti szükségtározó-rendszer üzemeltetésére nincs szükség, mivel a Tiszán és a Szamoson levonuló árhullám tetőzésének magassága alatta marad az ott tartandó vízszinteknek.

A Tisza Bodrog torkolata feletti szakaszán levő szükségtározó-rendszerüzemeltetése rendes üzem esetén

Az előzők szerint e tározórendszerhez tartozik a Tiszán, az 707,0 fkm-es szelvényben levő Beregi-, és az 598 fkm-es szelvényben létesített Cigándi-Tizsakarádi, továbbá a Szamos 19,8 fkm-es szelvényében levő Szamos-Kraszna-közi tározó, s ezek közül a Beregi-tározó az északi országhatárhoz kerekén 38 fkm-re, és ettől számítva a Cigándi-Tizsakarádi tározó 109 fkm-re van. A Szamoson pedig a helyzet úgy alakul, hogy a Szamos-Kraszna-közi tározó az országhatártól 32 fkm-re, a Cigándi-Tizsakarádi

tározótól pedig 88 fkm-re van. Ami természetesen azt jelenti, hogy a Tiszán érkező magas árhullám esetén elsősorban a két Tiszán levő, a Szamoson érkező magas árhullám esetén pedig elsősorban Szamoson levő szükségtározóval kell védekezni.

Természetesen ehhez a rendszerhez akárhonnan érkezik is a magas árhullám, a szomszédos országok adataira támaszkodva mindig tájékozódni kell az országhatárhoz érkező árhullám várható magassága és tetőzésének a várható ideje felől. Továbbá ezt követően, már az ország területén levő legfelső hazai távmérő állomások adataira támaszkodva, előrejelzéssel meg kell majd határozni az árhullámnak azt a magasságát és azt az idejét, amellyel az árhullám az országhatárhoz legközelebbi szükségtározóhoz érkezik; annak érdekében, hogy ezekre támaszkodva tájékozódni lehessen e tározók üzembe állításának a szükségessége felől. Abban az esetben pedig, ha a tetőzés szintje a tározó vízsztinttartásának helyén várhatólag magasabb az ott tartandó szintnél, vagy azt nagyon megközelelti, a tározót minden vonatkozásban fel kell készíteni az érkező vizek fogadására, s ennek keretében a műszaki berendezéseinek a működését is ellenőrizni kell. Ugyanakkor ilyen esetben fel kell venni a kapcsolatot a tározó területén gazdálkodókkal is, hogy őket a tározó várható elárasztásáról tájékoztatni lehessen. Végül a levonuló árhullám magasságának az alakulását az árhullám megérkezésétől kezdve feltétlenül figyelemmel kell kísérni. Ennek keretében a kialakuló alvízi- és felvízi vízállást a meghatározott az illetékes vezetőnek jelenteni kell, és őt sürgősen tájékoztatni kell az esetleg előálló, nem várt veszélyes helyzetről is.

Amennyiben valamelyik szükségtározónál az árhullám levonulása közben a vízsztinttartásra előreláthatólag szükség lesz, a tározó üzembe helyezésére Országos Műszaki Irányító Törzs (OMIT) vezetőjének utasítására kerül sor. Ezt követően pedig a tennivalókat az előzőekben összefoglalt általános előírások szerint kell elvégezni. Emellett pedig az OMIT vezetőjét az üzem beindítása után, a szükségtározónál kialakult vízsztintokról az általa meghatározott gyakorisággal rendszeresen tájékoztatni is kell. Különösen fontos annak megfigyelése, hogy a tartandó szintet a vízkivétellel lehet-e tartani. Ugyanis akkor, ha a vízsztinttartás egyik vagy másik, illetve mindkét szükségtározó esetében még a vízkivétel teljes nyitása mellett sem lehetséges, úgy (ugyancsak felsőbb utasításra) meg kell majd nyitni az alattuk levő Cigándi-Tiszakarádi tározót is. Továbbá az OMIT vezetőjét természetesen ugyancsak kell tájékoztatni arról is, hogy a vízsztinttartás magasságát elérő tetőzés a két szükségtározó közül az egyiknél, vagy esetleg mindkettőnél várhatólag nem fog majd bekövetkezni.

A Tisza Kiskörei-tározó alatti szükségtározó-rendszerének üzemeltetése rendes üzemmenet esetén

Az árhullám nagyságától, s a Beregi- és a Szamos-Kraszna-közi tározó méretétől és vízkivételük vízszállító-képességétől függően e két tározó a Tiszán és a Szamoson érkező árhullám tetőző magasságát lecsökkentheti akár oly mértékben is, hogy a következő, a Cigándi-Tiszakarádi tározónál a tetőző magasság a tartott szintet már nem éri el. Viszont lehetséges az is, hogy ez nem így történik. Előfordulhat, hogy a Kiskörei-tározó alatti három

szüség-tározóra - már csak a Bodrogon, továbbá a Hernádon és a Sajón esetleg szintén levonuló árhullám hatására is - igen csak szükség lesz ahhoz, hogy a nagyvíz levonulása során Szolnok és az utána következő Tisza szakasz kellő biztonságban maradjon Így esetenként az itteni üzemre való felkészülés érdekében is fontos lehet az, hogy ezt megfelelő előrejelzésekkel segítve lehessen elvégezni.

E három szükségtározó üzemeltetését természetesen ugyancsak az általános szabályok szerint kell végezni, azaz a kiegészítéssel, hogy itt a három szükségtározónak (már csak a viszonylag nem nagy távolságok adta lehetőséggel élve) a lehető legszorosabban együtt kell működni.

A rendkívüli üzemhez szükséges vízsztinttartás elrendelése és megvalósítása a Tisza két szükségtározó-rendszerénél

A Tisza két szükségtározó-rendszerénél rendkívüli üzemre – megfelelő előzetes tájékozódás és mérlegelés után – a következő esetekben van szükség:

- A Bodrog torkolata feletti Tisza-szakaszon a Cigándi-Tiszakarádi szükségtározó önmagában nem tudja biztosítani a tartandó vízsztintjének megfelelő alvízsztintet, s így - a szükséges mértékig - a Beregi, majd, ha még erre is szükség van a Szamos Szamos-Kraszna-közi szükségtározót is meg kell nyitni annak érdekében, hogy a Cigándi-Tiszakarádi szükségtározóhoz kevesebb víz érkezzék.

- A kiskörei tározó alatti Tisza szakaszra olyan nagy árhullám érkezik, hogy az ott levő három szükségtározó rendes üzemmel az utolsó, a Tiszaroffi szükségtározó alvízsztintjét tartani nem tudja. Ilyen esetben – a megfelelő sorrendet betartva- elsőként a szóban forgó három tározónál kell egy alacsonyabb vízsztint tartására átállni annak érdekében, hogy ezekbe megfelelően több vízhozamot lehessen vezetni. Ha pedig mindhárom tározó már megtelt és ennek ellenére a Tiszaroffi szükségtározó rendes üzemének megfelelő alvízsztint ott még nem áll elő, a rendes üzemelésnél alacsonyabb szinttel először a Cigánd-Tiszakarádi, majd, ha még kell a Beregi, továbbá, még ha erre is szükség van a Szamos-Kraszna-közi szükségtározót kell megnyitni.

Minden egyéb vonatkozásban pedig be kell tartani a vízsztinttartás általános előírásai között a rendkívüli üzemre vonatkozó előírásokat.

Üzemzárás a Tisza két szükségtározó rendszerében

Végül abban az esetben, ha az előrejelzések szerint a csak a Sajón és Bodrogon érkezik akkora árhullám, hogy Szolnokot és az utána következő Tisza szakaszt a Kiskörei tározó alatti szükségtározók rendes üzemeltetésével megvédeni nem lehet, megfelelő mérlegelés után el kell rendelni a Bodrog torkolata feletti szükségtározó-rendszer rendkívüli üzemeltetését is. Ennek keretében pedig e tározók számára meg kell adni, hogy mikor, milyen mértékben nyissanak, s milyen körülmények között kell majd a rendkívüli üzemeltetésüket befejezni.

Üzemzárás

A Tiszán létesített szükségtározó rendszer esetében az üzemzárást mindenben vonatkozásban az üzemeltetés általános előírásai szerint kell elvégezni, figyelembe véve azt, hogy amiként a szükségtározók üzembeállítására, úgy

az üzem zárására is az *Országos Műszaki Irányító Törzs (OMIT)* vezetője ad utasítást.

Táv mérés és előrejelzés a Tisza két szükségtározó-rendszerénél

Hivatkozva az általános előírásokban adott útmutatásra, az üzemmenet biztonságossá tétele érdekében a megfelelő helyekre itt is távmérőállomásokat kell telepíteni, s a lejjebb fekvő folyószakaszok védelmének erősítése érdekében minél pontosabb előrejelzésekre itt is szükség van. Meg kell azonban jegyezni, hogy most ennek keretében csak a Kiskörei-tározó alatti rendszerrel kell foglalkozni, mivel a Bodrog torkolata feletti rendszer üzemeltetése érdekében telepített távmérő rendszer és az ennek üzemeltetésének a segítésére kidolgozott távmérés a Kiskörei tározó alatti rendszer üzemeltetését is megfelelően támogatni tudja.

Ennek megfelelően egy-egy távmérő vízmércére van szükség a Tiszaroffi-tározó kivételével az összes többi szükségtározó vízkivétele fölé és alá. A Tiszaroffi-tározónál pedig, amelynek két vízkivétele van, a távmérő vízmércékből ugyanígy elhelyezve kettő-kettő kell legyen. Vízhozam- és vízállás távmérő berendezés van már az országhatárnál a Tiszán, a Sajón, a Hernádon, a Bodrogon, a Krasznán és a Szamoson. Ezek megbízható működésének a biztosítása érdekében ellenőrzésük, esetleges felújításuk és kalibrálásuk érdekében még van tennivaló. Viszont ezeken kívül az országhatáron belül kell még egy újabb ilyen távmérő berendezés a Cigándi-Tiszakarádi tározó vízkivétele fölé és alá (attól mintegy 50-50 m távolságra), hogy a Kiskörei-tározó alatti három szükségtározó üzemét az innen származó adatokkal is támogatni lehessen.

Áttérve az előrejelzésekre a Tisza szükségtározó rendszerének a megbízható működtetéséhez a Tisza és a Szamos határszelvényében feltétlenül szükség van a Nagykunsági tározóhoz érkező árhullámok tetőző magasságának az előrejelzésére (attól függetlenül, hogy e célra Ukrajnából, Kárpátaljáról milyen megbízhatóságú adatok állnak rendelkezésre).

Ezen kívül szükség van még arra, hogy a Kiskörei-tározó alatti három szükségtározó üzemeltetéséhez, a Nagykunsági-tározó vízkivételének a szelvényére a Sajó, a Hernád, és a Bodrog országhatárt metsző szelvénye alatti első (táv mérésre is berendezett) vízrajzi állomás adatai alapján rendszeres vízállás és vízhozam előrejelzés készüljön. Ugyanezen okból ugyanide a Tisza Cigánd-Tiszakarádi tározója alatti szelvény adataira támaszkodva is kell még rendszeres előrejelzést adni, mivel az ebben a szelvényben kialakuló árhullám már magán viseli a felette levő három szükségtározó üzembeállításának a hatását is.

Ezeknek az előrejelzéseknek a kidolgozását viszont két körülmény is nehezíti.

- Az egyik az, hogy Cigánd-Tiszakarádi tározó alatti szelvényből elinduló és a felette levő három szükségtározó üzemelésének a hatására kialakuló árhullámok levonulásával kapcsolatban semmiféle előzetes tapasztalattal nem rendelkezhetünk. Így (legalább is az első néhány, átlagosan úgy 20 évenként bekövetkező nagyvizek alkalmával) a vízállás- és vízhozam előrejelzése érdekében elvégzett

nempermanens számítások eredményeként kapott árhullámot nem lehet (a kialakult gyakorlatnak megfelelően) előzetesen levonult árhullámmal történő összehasonlítással, gyakorlati tapasztalatokra támaszkodva javítani. Vagyis a nempermanens számítás szokásos egyenletrendszerét használva ez az előrejelzés jó sokáig túlzottan megbízható nem lesz. Ezért ilyen körülmények között sokkal célravezetőbb lenne a szükségtározótól Tokajig tartó szakaszon levonuló árhullám alapján az 1960-as években kidolgozott „átvonulási elméletet” alkalmazásával előre jelezni. Ennél ugyanis, mint az a Dunára elvégzett előrejelzésekből kitűnik (*Szigyártó 1968, 1980*), (*Szigyártó és társai 1973, Szigyártó 1980*), gondos munka esetén semmiféle előzetes gyakorlati tapasztalatra nincs szükség ahhoz, hogy az általánosan használt nempermanens számításokkal végzett előrejelzésekkel azonos megbízhatóságú előrejelzés készüljön.

- A másik bonyolító körülmény az, hogy a *Kiskörei-tározó üzemeltetése, a tározó előre ürítése, a leürítés kezdetének időpontja, a leürítés módja és időtartama rendkívül jelentős hatást gyakorolhat az árhullám levonulására*. Így ezek hatására a tározó feltöltésének idején számottevően csökken a tározót elhagyó vízhozam nagysága. Emellett pedig e tározó vízszinttartásának idején ellenkező hatás érvényesül, s ilyenkor a tározó jelentősen felgyorsítja az árhullám levonulását, emellett pedig csökkenti annak ellapulását (*Szigyártó és Rátky 2010*). folyószakaszra megbízható előrejelzés csak a tározó üzemének a figyelembe vételével adható. Továbbá ebből adódik az is, hogy az előrejelzés megbízhatósága jelentősen fokozható úgy, hogy az két lépésben készül. Első lépésben az előrejelzés a Kiskörei-tározó feletti, a tározó üzemeltetése által még nem befolyásolt vízrajzi állomásra készül el, a második lépésben ennek eredményét kiindulási alpnak elfogadva készül a Nagykunsági tározó vízkivételének a szelvényére vonatkozó előrejelzés, amellyel a Kiskörei-tározó hatását kell majd figyelembe venni. Továbbá ennek az utóbbi előrejelzésnek a pontossága is fokozható még úgy, hogy a tározó az árhullámok levonulásának idejére olyan előre meghatározott és mindég betartott üzemrenddel működik, amit az előrejelzések adásakor biztosan figyelembe lehet venni.

UTÓSZÓ

A vízszinttartás, mint az árvízi szükségtározók hatékony üzemirányításának eszköze

Az árvízi szükségtározók, mint láttuk, vagy rendes, vagy rendkívüli üzemben működnek. Nyilvánvaló az is, hogy maga az üzem szükségszerűen mindig rendes üzemmé indul, s erről csupán akkor kell áttérni a rendkívüli üzetre, ha valahol a gát szerkezete veszélyesen meggyengül, s emiatt (a szükséges tennivalók megtétele nélkül) gátszakadásra, vagy a magas víz miatt a gát meghágására lehet számítani. Azt is láttuk, hogy rendkívüli esetekben olyan intézkedésekre van szükség, amelyek igazodnak a minden alkalommal eltérő módon előálló veszélyes helyzetekhez, s így a tennivalók csak megfelelő tájékozódás és megfontolás útján határozhatók meg, amelyekre éppen ezért részletes általánosan előírások nem adhatók. Ezzel szemben egészen másképpen alakul a vízszinttartással működő rendes üzem. Ugyanis ennél a tennivalók mindig

meghatározott sorrendben és meghatározott módon jelentkeznek, ami már önmagában is indokolja, hogy ezt megfelelő előírások betartásával, tehát egy üzemviteli szabályzat előírásai szerint végezzék el. Ehhez járul aztán további nyomós indokként az, hogy a vízsztinttartás, mint árvédekezési eljárás a hazai gyakorlat számára rendkívüli szokatlan, amely már önmagában is szükségessé teszi egy ilyen szabályzat alkalmazását.

Rátérve magára a szóban forgó üzemviteli szabályzatra, nyilvánvaló, hogy ennek alkalmazása során minden vonatkozásban ki kell elégíteni az ilyen tározókkal kapcsolatos alábbi igényeket:

- A tározó nyitására vonatkozó utasítás kézhezvételét követően a nyitás elvégzéséhez legyen elegendő az üzemviteli szabályzat ide vágó szövegének az ismerete.
- Szükség esetén a tározó-rendszer az összes tározó lehetséges legnagyobb feltöltésével védje az elárasztástól a mentett területet.
- Egy árhullám levonulása során a tározók megnyitása következtében a tározó területén gazdálkodók részére kifizetendő kártérítés minél kisebb legyen.

Az üzemviteli szabályzat ugyanekkor a rendes üzemmel kapcsolatban a következőképpen intézkedik:

„A tározók nyitását a folyó legfelső tározójának a nyitásával kell kezdeni akkor, amikor a tározó vízkivétele után, a vízsztinttartás szelvényében az árhullám vízállása meghaladja a tartandó vízszintet. Ezt követően a vízkivétel zárószervezetének a mozgásával kell a vízszintet tartani, és a fölös vizeket a tározóba terelni. Amennyiben utóbb a tározó megtelik, vagy vízkivételének vízzállító képessége már nem elégséges ahhoz, hogy a fölös vizek teljes mennyiségét a tározóba vezessék, a vízszintet tovább tartani már nem lehet. Az alvízszint és ezt követően az alatta levő tározó vízsztinttartási szelvényében a vízállás ugyancsak el kezd emelkedni. Ha pedig az árhullám megfelelően nagy, a vízállás ennek a tározónak a vízsztinttartási szelvényében is előbb-utóbb meghaladja a tartandó vízszintet, s ennek megfelelően ezt a tározót is meg kell nyitni. És így tovább, mindaddig, amíg a fölös vizeket a lejjebb levő tározókban még el lehet helyezni, illetve már nem jön annyi víz, hogy az alsóbb tározókat is igénybe kelljen venni.”

Mindezeket figyelembe véve az árvízi szükségtározókkal kapcsolatos, előbbieken felsorolt igények ügyében a következők állapíthatók meg:

Ami az *első igény* kielégítését illeti, nyilvánvaló, hogy abban az esetben, ha az üzemviteli szabályzat szerinti vízsztinttartást, az ennek során szükséges tennivalókat a tározók kezelőivel még a nagyvizek jelentkezése előtt, kellő időben megismertetik, illetve begyakoroltatják, a tározók igénybevételekor e szempontból további intézkedésekre nincs szükség.

Ami az *második igény* kielégítését illeti, magától értetődő, hogy a folyón a tározó vízkivételének a szelvényét elhagyó vízmennyiség ebbe a tározóba többé be nem vezethető. Ebből pedig következik, hogy abban az esetben,

ha a vízsztinttartás előírásait betartják, vagyis egy árhullám érkezésekor először a folyó legfelső szükségtározóját nyitják meg, majd ha az árhullám nagysága ezt szükségessé teszi, úgy az árhullám levonulása során kivétel nélkül mindegyik tározó feltöltődik annyira, amennyire azt a tározók köbtartalma, vízkivételük vízzállítóképesége és tartott szintjük ezt lehetővé teszi.

Végül, ami a *harmadik igény* kielégítését illeti, az előzőekből az is kiderül, hogy amennyiben az üzemviteli szabályzatot betartják, mindig csak annyi tározó kerül megnyitásra, amennyi az árhullám fölös vizeinek a tározásához elegendő. Következésképpen a tározók igénybevétele miatt a tározók területén gazdálkodóknak csak az elkerülhetetlenül jelentkező kártérítési összegeket kell kifizetni.

IRODALOM

- OVF (1997). A Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium 15(1997). (IX. 19.) KHVM rendelete a folyók mértékadó árvízszintjéről.
- Szigyártó Z. (2005). Eljárás árvízi vésztározók üzemeltetésére. *Szabadalom*. Lajstromszám: 226 392, ügyszám: P 05 00376, 2005, április 11.
- Szigyártó Z. (1968). Árhullámkép gyakorlati meghatározása az átvonulási elmélet alapján. *Építés-és Közlekedés-tudományi Közlemények*, Budapest, 1968. 3-4. sz. 485-513. o.
- Szigyártó Z. (1980). Vízhozam-hullámképek számítása valószínűség-elméleti alapon. *Doktori értekezés*, Budapest, 1980.
- Szigyártó Z. (2015a). Árvízi szükségtározók vízsztinttartó üzeme. *Hidrológiai Közöny*, Budapest, 95. évf. (2015). 1. sz. 19-25. o.
- Szigyártó Z. (2015b). Módszer az árvízi szükségtározók térfogatának és vízkivételének a hidrológiai méretezéséhez. *Hidrológiai Közöny*, Budapest, 95. évf. (2015). 3. sz. 45-62. o.
- Szigyártó Z. (2016). Alapadatok az árvízi szükségtározók hidrológiai méretezéséhez és méreteik ellenőrzéséhez. *Hidrológiai Közöny*, Budapest, 96. évf. (2016). 4. sz. 20-25. o.
- Szigyártó Z., Rátky I. (2012). A vízsztinttartás mellett levonuló árhullámok néhány törvényszerűsége. *Hidrológiai Közöny*, Budapest, 92. évf. (2012). 1. sz. 35-40. o.
- Szigyártó Z., Csoma J., Jurácsik G-né (1973). Árhullámképek előrejelzése a Dunán az átvonulási elmélet segítségével. *Vízügyi Közlemények*, Budapest, 1973. 1. füzet, 3-26. o.
- Szigyártó Z., Rátky I. (2012). A vízsztinttartás mellett levonuló árhullámok néhány törvényszerűsége. *Hidrológiai Közöny*, Budapest, 92. évf. (2012). 1. sz. 35-40. o.
- Szigyártó Z., Váradi J. (2017). Javaslat az árvízi-szükségtározók által tartott árvízszintekre. Budapest, 97. évf. (2017). 4. sz. 24-33. o.

A SZERZŐ



SZIGYÁRTÓ ZOLTÁN Budapesten született 1926-ban. Középiskoláinak elvégzését követően az akkori (budapesti) *Magyar Királyi József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mérnök és Építészmérnöki Karának Mérnöki Osztályára* iratkozott be, ahol 1950-ben szerzett mérnöki diplomát. Ezzel egyidejűleg az Egyetem I. sz. *Vízépítési Tanszékére* kinevezték tanársegédnek. Ezt követően 1952-ben megpályázta az aspiránsi ösztöndíjat, s disszertációját megvédve 1958-ban kapta meg a *műszaki tudományok kandidátusa* címet. Már ezt megelőzően, 1955-ben a *Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézetbe* (VITUKI) került, ahol először kutatóként, majd az igazgató mellett műszaki titkárként, később tudományos osztályvezetőként dolgozott. Ez idő alatt kutatóként elsősorban a különböző hidrológiai problémák megoldásával foglalkozott. Műszaki titkárként feladata az Intézet kutatási tevékenységének figyelemmel kísérése, ellenőrzése, az Intézet munkájával kapcsolatos tervek és beszámolók elkészítése. Itt szerezte meg a *műszaki tudományok doktora* (illetve a *Magyar Tudományos Akadémia Doktora*) címet is. 1986-ban ment nyugdíjba ennek az intézetnek munkatársaként, mely szervezet neve ekkor *Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ* (VITUKI) volt. Ezt követően, 1992-ig, mint nyugdíjas továbbra is a VITUKI-ban, változatlan munkakörben dolgozott, majd a vízrajzi munka fejlesztésével, a vízrajzi létesítmények tervezésével és ezek kivitelezésével kapcsolatos munkák elvégzésére két céget is alapított. Korának előrehaladtával cégeit a 2000-es évek végéig felszámolta, illetve eladta. Kutatói tevékenysége során hidrológia, hidraulika, mezőgazdasági vízgazdálkodási és ármentesítési problémák megoldásával foglalkozott, illetve feladata az ide vágó valószínűség-elméleti és matematikai-statisztikai problémák megoldása volt. Az utóbbi mintegy 20 évben pedig kizárólag a Tisza nagyvízi vízjárásával és ármentesítésével foglalkozik. Ez ideig több mint 200 tanulmánya, publicisztikája és könyve került kiadásra. Sok elismerést és kitüntetést kapott. Így a *Magyar Hidrológiai Társaság Tiszteleti Tagja*, *Tiszteletbeli Mérnöki Kamarai Tag* és *Címzetes Egyetemi Tanár*. A többi kitüntetés közül pedig kiemelkedik a legmagasabb polgári kitüntetés, a *Magyar Érdemrend Tiszti Fokozata*, melyet 90. életévében, meghatározó jelentőségű életműve elismeréseként kapott.

Jégmegjelenés előrejelzése a súlyozott középhőmérsékletek elve alapján a Duna hazai szakaszára

Liptay Zoltán Árpád*

* Országos Vízeljáró Szolgálat, 1012 Budapest, Márvány utca 1/d. (E-mail: liptay.zoltan@ovf.hu)

Kivonat

Jelen tanulmány célja a súlyozott középhőmérsékletek elvének alkalmazási vizsgálata a Duna hazai szakaszán Nagybajcs, Budapest, és Paks állomásokra. A Rodhe (*Rodhe 1952, 1955*) által kidolgozott módszer a vízfelszín és levegő határfelületén végbemenő szenzibilis hőáram meghatározó szerepét feltételezi, a víz hőháztartását meghatározó egyéb tényezők elhanyagolásával. A számítás alapvetően tengeri viszonyokra került kidolgozásra, így folyami alkalmazása esetén várható a korlátozott érvényesség. Azonban szakirodalmi utalások szerint a módszer jól alkalmazható folyókon a jég megjelenés napjának becslésére. Esetünkben a három kiválasztott szelvényben kizárólag a napi középhőmérsékletek alapján -2 és +2 nap pontossággal adja a jég megjelenését a vizsgált 10 éves időszak 4 igazoláshoz felhasznált jégmegjelenése alapján. Tehát a módszer használható, de a folyó aktuális hidrológiai és hidraulikai állapotának figyelembevétele nélkül ennél pontosabb eredmény nem érhető el. Mivel a számítás alapegyenlete koncentrált paraméterű, a paraméter szétbontásával és az egyenlet kibővítésével, így a meteorológiai viszonyok mellett szintén meghatározó hidrológiai és hidraulikai viszonyok figyelembe vételével tovább specializálható az algoritmus folyami használatra.

Kulcsszavak

Hidrológia, vízhőmérséklet, jég, előrejelzés, Duna.

River ice occurrence forecast based on the theory of weighted mean temperature on the Hungarian section of the Danube River

Abstract

The current scientific paper aims to examine the applicability of the theory of weighted mean temperatures on the Hungarian section of Danube, at Nagybajcs, Budapest and Paks gauging stations. The method derived by Rodhe (*Rodhe 1952, 1955*) assumes the dominance of sensible heat transfer along the boundary of water surface and air, meanwhile neglecting any other heat balance terms. The equation was derived to marine application, thus application on rivers is expected to have limited validity. However positive results were found in literature for ice occurrence forecast. The results of the current study at the three selected river sections based on daily mean temperature were between -2 and +2 days of accuracy. This was achieved for the ice occurrence on the 4 icy periods of the 10 year study timespan selected for validation. Therefore the method proved to be applicable, but superior results cannot be obtained without introducing the hydrological and hydraulic circumstances. Since the basic equation of the method is lumped in parameter, by the splitting of this parameter and the extension of the equation, in other words by the introduction of hydrological and hydraulic conditions the method can be specialized for river application.

Keywords

hydrology; water temperature; ice; forecast; Danube.

BEVEZETÉS

A 2017. évi dunai jég helyzet, majd az azt közvetlenül követő tiszai jeges árvíz rámutattak arra, hogy az akkor igen alacsony mederteltségű Duna öt jégmentes esztendő eltelével is tud váratlan helyzetet előidézni, ugyanúgy, ahogy a Tisza vízgyűjtőjén egy időben kialakuló erős jégbeállítás és hóolvadásból meginduló árhullám is. Ezen helyzetek fokozott fenyegetést jelentenek anyagi kár, és emberélet szempontjából is, így biztonságos levezetésük kiemelten fontos, de összetett mérnöki feladat. Az ilyen és ehhez hasonló események előrejelzése és a felkészülés a jeges védekezés egyik legfontosabb eleme. Folyóink jégviszonyainak kutatási története a 19. századig nyúlik vissza, a magyar vízrajzi szolgálat már ekkor végzett jégjelenségekre vonatkozó megfigyeléseket és észleléseket (*Csoma 1968*). A kor mérnökei részletes beszámolóikban összegezték tapasztalataikat az egyes jeges árvizek levonulásáról és a kialakult jégtorlaszok megbontásáról. Ilyenek például *Bogdánfy & Péch (1902)*, *Hajós (1912)*, *Bogdánfy (1911)* és *Ihrig (1935)* munkái. A jégjelenségek okát és előfordulását hazánkban Lászlóffy Woldemár kutatta először (*Lászlóffy 1934, 1947, 1949*). Az elődeitől eltérően tudó-

mányos megközelítéssel vizsgálta a folyóvizek hőmérsékleti és jégviszonyait. 1826-tól, azaz több mint 100 éves idősoron elemezte a meteorológiai hatásokat, 1818-tól, Vásárhelyi Pál közléseiből kiindulva a budapesti jégjárás adatokat, valamint 68 téli időszak feljegyzéseiből vont le következtetéseket. Elsőként hangsúlyozta a jégelörejelzés gyakorlati jelentőségét a késő őszi hajózási idény teljes kihasználása érdekében. A Duna ipari kihasználásának fejlődésével a jég nem a hidrológiai vizsgálatok, hanem a vízépítés és műtárgyhidraulika részét képezte. Ebben a szelvényben alkotott *Horváth Sándor (1960, 1979)*, *Csoma János (1968)* és *Starosolszky Ödön (1969, 1989)*. Szintén hidraulikai alapokon vizsgálják a jégmozgást és a torlaszok kialakulását *Zsilák (1974)*, *Bogárdi és Kozák (1978)*, *Mayer (1987)*, valamint *Bakonyi (1987)* munkái.

A hazai jégelörejelzést az Országos Vízeljáró Szolgálat végzi, valamint itt kerülnek összesítésre és ábrázolásra is a Jégjelentő Szolgálat észlelései. Az előrejelzés jelenlegi módszertana a víz hőháztartásának számításán alapul, ún. becslött energiamérleg segítségével (*Starosolszky 1969*). A számítás kezdeti feltétele az észlelt vízhőmérséklet, az energiamérleg tagjainak becslése pedig a meteorológiai

előrejelzés alapján történik. Az előrejelzés jelenleg a Dunára és Tiszára készül, 4 és 6 folyószakaszra, 6 napos időelőnnnyel. Doktori kutatásomban egy olyan alternatív számítási módszer kidolgozását céloztam meg, amely az alapegyenlet tagokra bontása és a tagok becslése helyett koncentrált paraméterű összefüggésen alapszik, és hosszabb, 10 napos időelőnnnyel végezhető, valamint a jelenleg operatív használatban lévő módszerrel ellentétben az észlelt vízhőmérséklet adatokra nem támaszkodik. Ezen utolsó feltétel oka a jelenlegi operatív vízhőmérséklet mérési gyakorlat és a jégmegjelenéshez előrejelzéséhez szükséges információk körének ellentmondása (Keve 2012). Turbulens áramlású folyók szelvényeit tökéletesen átkeveredteknek tekintjük a vízhőmérséklet szempontjából, de a vízfelszíni és fenék közeli mérések ezt cáfolják. A jégészlelési módszerek korszerűsítésével tehát módszertanilag helyes és objektív bemeneti és kontroll adatokkal lehetne alátámasztani az előrejelző módszereket (Keve 2002, 2010, 2017). A jelen tanulmányban vizsgált módszer Rodhe (1952) súlyozott középhőmérsékletek elvére épül. Olof Bertil Rodhe svéd meteorológus az 1950-es évek elején publikálta számítási módszerét (Rodhe 1952, 1955), mellyel a Balti-tenger part menti jégviszonyait kívánta előrejelezni. Eredményeinek későbbi vizsgálatára és alkalmazására számos szakirodalmi utalást találni (Lappäranta 2015, Bilello 1963, Palosuo 1958), de folyókat érintő részletes tanulmányt csak Bilello (1963) publikált. Rodhe alapvetően állóvizekre dolgozta ki módszerét, de az alapegyenlet kibővítésével, a hidrológiai és morfológiai viszonyok figyelembevételével lehetséges a kielégítő pontosságú folyóvízi alkalmazás is. Jelen tanulmányban az eredeti, Rodhe által kidolgozott összefüggések alkalmazását mutatom be a Duna hazai szakaszán, Nagybajcs, Budapest és Paks állomásokra.

ESZKÖZÖK ÉS MÓDSZEREK

A súlyozott középhőmérséklete elve azt feltételezi, hogy az energiamérleg tagjait hagyományos meteorológiai mérések eredményeiből nem tudjuk egzakt módon meghatározni, így a víz és levegő közötti közvetlen energiaáramon kívül mindent tagot elhanyagolunk. A számítás tehát a hőátadáson alapul, amely a különböző hőmérsékletű víz és levegő határfelületén indukálódik. Ez alapján állítja fel a kapcsolatot a léghőmérséklet és a jég megjelenése között, a léghőmérséklet súlyozásával, hiszen a rövid ideig tartó fagypon alatti hőmérséklet nem elegendő a jég megjelenéséhez. Ebből következően a módszerre Rodhe (1952) a súlyozott középhőmérsékletek elve néven hivatkozik, alapegyenletét pedig az alábbiak szerint vezeti le (Rodhe 1952, 1955).

A hőátadás Newton szerinti alapegyenlete a vízfelületből történő felfelé irányuló átadásra:

$$q = -\alpha(T - \tau) \quad (1)$$

ahol q - az átadott hő
 T - a léghőmérséklet
 τ - a vízfelszín hőmérséklete
 α - a hőátadási tényező

Tudjuk, hogy ez a hőmennyiség a víz egy h vastagságú rétegéből kerül elvételre, aminek következtében a vízréteg

átlaghőmérséklete a felszíni hőmérséklet csökkenésének γ szorosával csökken:

$$q = -c\gamma h\rho \frac{dT}{dt} \quad (2)$$

ahol q - az átadott hő
 τ - a vízfelszín hőmérséklete
 c - a víz fajhője
 γ - felszín és átlaghőmérséklet között tényező ($0 < \gamma < 1$)
 h - az átadó vízréteg vastagsága
 ρ - a víz sűrűsége
 t - az idő

A fenti két egyenlet (1) és (2) összevonásából az alábbi összefüggés (3) adódik:

$$-c\gamma h\rho \frac{dT}{dt} = -\alpha(T - \tau) \quad (3)$$

Ezt az egyenletet átrendezve a vízfelszín hőmérsékletének változását az alábbi alapegyenlet írja le:

$$\frac{dT}{dt} = k(T - \tau) \quad (4)$$

ahol T - a léghőmérséklet
 τ - a vízfelszín hőmérséklete
 t - az idő
 k - az időinverz tényező, mértékegysége [1/idő], $k = \frac{\alpha}{c\gamma h\rho}$

A fenti (4) összefüggés egyszerűen azt hivatott leírni, hogy a τ vízfelszín hőmérséklet dt idő alatti változása egyenlő a T léghőmérséklet és τ vízfelszín hőmérsékletének különbségének és a k tényezőnek a szorzatával. A k tényező nem egy egyszerű állandó, hiszen az energiamérleg elhanyagolt tagjainak hatását szimbolizálja, így értéke helytől és időtől is függő, a megoldáshoz azonban állandónak kell feltételeznünk. A fenti (4) egyenletet átrendezve:

$$dT + k \cdot \tau \cdot dt = k \cdot T \cdot dt \quad (5)$$

Az így kapott első rendű lineáris differenciálegyenletet (5) megoldásához mindkét oldalt megszorozzuk e^{kt} -vel:

$$e^{kt} dT + k \cdot \tau \cdot e^{kt} dt = k \cdot T \cdot e^{kt} dt \quad (6)$$

Felismerve a deriválási szabályokat, a baloldalt az $(f(x)g(x))' = f'(x)g(x) + f(x)g'(x)$ összefüggés, a jobboldalt pedig a láncszabály $(f'(x) = f'(g(x))g'(x))$ szerint a (6)-os sz. egyenlet az alábbi egyszerű alakra hozható:

$$d(\tau \cdot e^{kt}) = T \cdot d(e^{kt}) \quad (7)$$

Feltüntetve az integrált a t_0 és t_n időpontok között:

$$\tau_n e^{kt_n} - \tau_0 e^{kt_0} = \int_{t_0}^{t_n} T \cdot d(e^{kt}) \quad (8)$$

ahol, T - a léghőmérséklet
 τ_n - a vízfelszín hőmérséklete a t_n időpontban
 τ_0 - a vízfelszín hőmérséklete a t_0 kezdeti időpontban
 t - az idő
 k - az időinverz tényező

Az így kapott egyenletben (8) a változók az idő folytonos függvényei, ezért a gyakorlati alkalmazáshoz az összefüggést diszkrétizálni szükséges. Ehhez a t_0 és t_n között eltelt időt n egyenlő részre osztjuk, melyek hossza $\Delta t = t_n - t_{n-1}$, így a T_v léghőmérséklet és a τ_v vízfelszín hőmérséklet az adott t_{v-1} és t_v lépésköz átlagos hőmérséklete. Ezek alapján a (8) sz. egyenlet τ_n -re rendezve és diszkrét alakra hozva:

$$\tau_n = \tau_0 e^{-k(t_n - t_0)} + (1 - e^{-k\Delta t}) \sum_{v=1}^n T_v e^{-k(t_n - t_v)} \quad (9)$$

Az alábbi behelyettesítéssel élve:

$$(1 - e^{-k\Delta t}) = \frac{1 - e^{-k(t_n - t_0)}}{1 + e^{-k(t_n - t_{n-1})} + \dots + e^{-k(t_n - t_1)}} \quad (10)$$

$$\tau_n = \tau_0 e^{-k(t_n - t_0)} + (1 - e^{-k(t_n - t_0)}) \varphi_n \quad (11)$$

ahol

$$\varphi_n = \frac{\sum_{v=1}^n T_v e^{-k(t_n - t_v)}}{\sum_{v=1}^n e^{-k(t_n - t_v)}} \quad (12)$$

A φ_n függvény értéke (12) tehát a léghőmérsékletek súlyozott átlaga a t_0 és t_n időpontok között. Tehát minél régebbi egy hőmérséklet adat, annál kisebb súllyal kerül a számításba.

Ha $t_n - t_0 = k^{-1}$, akkor $e^{-k(t_n - t_0)} = 37\%$

$$t_n - t_0 = 2k^{-1} \quad e^{-k(t_n - t_0)} = 14\%$$

$$t_n - t_0 = 3k^{-1} \quad e^{-k(t_n - t_0)} = 5\%$$

$$t_n - t_0 = 4k^{-1} \quad e^{-k(t_n - t_0)} = 2\%$$

Amennyiben a τ_0 tag kitevőjében látható $(t_n - t_0)$ időtartam kellő hosszúságú, úgy a kitevőben negatív előjellel szereplő nagy szám miatt az $e^{-k(t_n - t_0)}$ egy nagyon kis szám lesz, így a kezdeti feltételként megadott τ_0 hőmérséklet elhanyagolható. Ezzel egyidőben az $(1 - e^{-k(t_n - t_0)})$ összefüggés egyhez közelít, ezért a τ_n azonos lesz a φ_n értékkel. A τ_n Rodhe levezetésében innentől nem a vízfelszín hőmérséklete, hanem a jég megjelenéséhez kapcsolódó hőmérsékleti függvény, az elmélet alapjául szolgáló energiamérleg egyszerűsített differenciálegyenletének egy partikuláris megoldása.

Ha az n időlépés helyett csak egy időlépést veszünk $n-1$ és n között, akkor a (9) sz. egyenletet az alábbi alakban írhatjuk fel:

$$\tau_n = \tau_{n-1} e^{-k\Delta t} + (1 - e^{-k\Delta t}) T_n \quad (13)$$

vagy

$$\tau_n = \tau_{n-1} + (1 - e^{-k\Delta t})(T_n - \tau_{n-1}) \quad (14)$$

Ezek után iteratív módon bármely τ_n érték meghatározható egy τ_0 kezdeti feltétel ismeretében. A fentebb említettek szerint a kezdeti feltétel hatása $(t_n - t_0)$ idővel később $e^{-k(t_n - t_0)}$ értékkel csökken.

A fentieket összegezve Rodhe súlyozott középhőmérsékletek elve azon alapszik, hogy a τ függvény, vagy diszkrét esetben a τ sor, a k^{-1} értéknek megfelelő intenzitással követi a léghőmérséklet alakulását. Ez alapján feltételezzük, hogy van egy olyan k^{-1} érték és hozzá tartozó τ sor, amely a jég megjelenésének pillanatában lép át egy rögzített τ értéket, például a 0°C -ot. Ha a jégmegjelenés

pontos időpontjának ismeretében az alapegyenletünkben szereplő k^{-1} tényezőt, melynek értékét állandónak feltételeztük, egy z változóra cseréljük, akkor a differenciálegyenletünk az alábbi formában írható fel:

$$d\tau = \frac{\partial \tau}{\partial t} dt + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz = 0 \quad (15)$$

Mivel a jégmegjelenés időpontjában azt feltételezzük, hogy $d\tau = 0$, és $\tau = 0$.

Az alapegyenletünket (4) ezúttal z -vel felírva:

$$\frac{\partial \tau}{\partial t} = \frac{T - \tau}{z} \quad (16)$$

Feltételezzük, hogy a τ függvény z szerinti parciális deriváltja az alábbi formában felírható:

$$\frac{\partial \tau}{\partial z} = -\frac{\tau - \sigma}{z} \quad (17)$$

Ahol σ egy t és z változójú függvény, és úgy viszonyul τ -hoz, mint τ T -hez, valamint az alábbi azonosság is teljesül, akkor:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \tau}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \tau}{\partial t} \right) \quad (18)$$

$$-\frac{\partial \tau}{\partial z} = +\frac{\partial \sigma}{\partial t} = \frac{\tau - \sigma}{z} \quad (19)$$

A teljes derivált így az alábbi formában írható fel:

$$d\tau = \frac{T - \tau}{z} dt - \frac{\tau - \sigma}{z} dz = 0 \quad (20)$$

vagy

$$\left(\frac{dz}{dt} \right)_{\tau = \text{const.}} = \frac{T - \tau}{\tau - \sigma} \quad (21)$$

Amennyiben $\tau = 0^\circ\text{C}$, akkor

$$\left(\frac{dz}{dt} \right)_{\tau=0} = -\frac{T}{\sigma} \quad (22)$$

Lineáris változás esetén tehát τ k^{-1} nap lemaradással követi T -t, és σ ugyanígy követi τ -t. Az alapegyenletünk diszkrét alakjába (9) az alábbi módon bevezetjük a z változót:

$$\tau_n = \tau_0 e^{-k(t_n - t_0)} + (1 - e^{-k\Delta t}) \sum_{v=1}^n T_v e^{-k(t_n - t_v)} \quad (23)$$

$$k = \frac{1}{z}, \text{ és } e^{-\frac{\Delta t}{z}} = x \quad (24)$$

$$\sum_{v=1}^n T_v x^{n-v} = 0 \quad (25)$$

Amennyiben a kezdeti feltételtől kellő távolságban vagyunk, és az $e^{-k(t_n - t_0)}$ közelít zérushoz, valamint az $(1 - e^{-k(t_n - t_0)})$ közelít egyhez. Látható, hogy az analitikus megoldás összetett, nem lehet z -re rendezni az összefüggéseket, ezért Rodhe (1952) is az iteratív megközelítést javasolja. 5-10 napos z lépcsővel felrajzoljuk a τ sorokat, és a jég megjelenésének pillanatára interpoláljuk a 0°C -ot két ahhoz legközelebbi pontban metsző sor z értékeit.

A fentiekből egyértelműen következik, hogy ha a T léghőmérséklet idősort előrejelzett adatokkal bővítjük, akkor z ismeretében a helyes τ sor is egy előrejelzést fog adni. Ezáltal prognosztizálni tudjuk a jég megjelenésének időpontját.

A kutatást megalapozó szakirodalmi feltáró munkám során azt találtam, hogy a hazai és külföldi anyagokban uralkodó az energiamérleg alapú megközelítés, annak ellenére, hogy az egyes energiagombokra a mai napig erős elhanyagolásokat és tapasztalati alapú becsléseket alkalmazunk. Viszonylag csekély számú a problémát a numerikus hidraulikai modellezésen keresztül megközelítő publikáció. Érdekesség, hogy Csoma János 1968-ban publikált *A Tisza jégjelenségeinek előrejelzése* c. munkája az *Olof Bertil Rodhe* által publikált (1952, 1955) elgondoláshoz nagyon közel áll, ugyanazon alapfeltevésre épül, miszerint uralkodónak tekintjük a víz-levegő határfelületen végbemenő szenzibilis hőátadást, és az ennek mértékét leíró paramétert egyetlen változóba sűrítjük. A Csoma János által használt alapegyenlet (Csoma 1968) az elméleti léghőmérséklet-összegek meghatározásához:

$$t_{v,n} = t_{v,n-1} + \alpha(t_{l,n} - t_{v,n-1}) \quad (26)$$

ahol, $t_{v,n}$ - a vízhőmérséklet egy adott n időpontban

$t_{l,n}$ - az $n-1$ és n időpontok közötti középhőmérséklet

α - a vízhőmérséklet és a léghőmérséklet kapcsolatát leíró konstans

Látható, hogy az összefüggés gyakorlatilag megegyezik Rodhe alapegyenletével, de Csoma az α meghatározását statisztikai alapokra helyezte. A módszert egyébként a tározótérek jégjelenségeinek előrejelzéséhez javasolta a tavak és tározótérek analógiája alapján.

EREDMÉNYEK

Alapegyenletek, felhasznált adatok

A súlyozott középhőmérsékletek elvét Rodhe a tengeri jégviszonyok és a léghőmérséklet kapcsolatának leírására dolgozta ki, de *Bilello* (1963) kiváló eredményekkel alkalmazta folyókon is. Az alapegyenlet diszkrét formáján anynyi egyszerűsítést tett, hogy az $(1 - e^{-k\Delta t})$ tagot N -nel jelölte, így nem közvetlenül a k^{-1} értéket használta a számítások paraméterezéséhez, hanem az N értéket. Így az iteratív megoldáshoz az alábbi összefüggés adódik:

$$\tau_n = \tau_{n-1} + N(T_n - \tau_{n-1}) \quad (27)$$

$$N = 1 - e^{-k\Delta t} \quad (28)$$

$$k = -\frac{\ln(1-N)}{\Delta t} \quad (29)$$

ahol, T_n - a t_{n-1} - t_n időlépés átlagos léghőmérséklete

τ_n - a vízfelszín hőmérséklete a t_n időpontban

τ_{n-1} - a vízfelszín hőmérséklete a t_{n-1} időpontban

Δt - az időlépés

k - az időinverz tényező, mértékegysége [1/idő]

N - a hőmérsékletváltozási tényező

Az egyszerűsítés a számítást megkönnyíti ugyan, de a paraméter fizikai tartalmát nehezen értelmezhetővé teszi. Mivel esetünkben a megoldást számítógépes algoritmus végzi, így a paraméter továbbra is a k^{-1} . A számításokat a

Duna folyó nagybajcsi, budapesti, és paksi vízmerce szelvényére készítjük, a *Rodhe* (1951) és *Bilello* (1963) által is használt 1 napos időlépcsőben. Az adatigény szempontjából ez a napi középhőmérsékleteket jelenti, valamint a k^{-1} megválasztásához szükségesek a jég megjelenéséről szóló információk, melyeket szintén napi rendszerességgel ad a Jégjelentő Szolgálat. Ez alapján belátható, hogy ennél finomabb időbeli felbontásra a kontroll adatok hiányában nem tudjuk a paraméterünket optimalni.

Az OVSZ adatbázisában az elmúlt 10 év jelentett jégállapotait (1. táblázat) átvizsgálva a kiválasztott vízmércekre, jelentési időszakonként (nov. 15. – márc. 15.) az alábbi, legalább úszó jeges időszakokat találjuk:

1. táblázat. Jégállapotok a Dunán
Table 1. Ice conditions on the Danube

Jégjelentési időszak	Jégjelenség		
	Duna		
	Nagybajcs (1801,0 fkm)	Budapest (1646,5 fkm)	Paks (1531,3 fkm)
2008-2009	01.15.-01.16.	01.09.-01.18.	01.06.; 01.10.-01.19.
2009-2010	01.29.-01.30.	01.24.-02.04.	01.27.-02.07.
2010-2011	jégmentes	12.19.-12.21.	12.20.-12.21.
2011-2012	02.05.-02.15.	02.05.-02.16.	02.06.-02.18.
2012-2013	jégmentes	jégmentes	jégmentes
2013-2014	jégmentes	jégmentes	jégmentes
2014-2015	jégmentes	jégmentes	jégmentes
2015-2016	jégmentes	jégmentes	jégmentes
2016-2017	01.08.-01.12.; 01.20.-01.22.	01.07.-01.13.; 01.20.-02.02.	01.07.-02.04.
2017-2018	jelenleg tart, egyelőre jégmentes		

Mivel a módszer csupán a jég megjelenésének számítását célozza, így a jégjelenség milyenségéről jelen pillanatban szükségtelen az adatok gyűjtése. A középhőmérsékletek adatsora ugyanerre az időtartamra szintén az OVSZ adatbázisából került gyűjtésre. A felhasznált adatsor a Győr-Likócs, Budapest-Pestszentlőrinc és Paks meteorológiai állomásokra az OMSZ által jelentett adatokból kerül előállításra.

A számítás lépései

A számítást először a 2008/2009-es jégjelentési időszakot célozva végezzük, majd a későbbiekben kiterjesztetem a teljes tartományra. Ehhez egy olyan kezdeti feltételt kell választanunk, ami elég távol esik az első jégmegjelenéstől, ahhoz hogy a korábbiakban leírtak szerint ne legyen arra hatással. A levezetésből tudjuk, hogy egy bemenő adat hatása a τ függvény alakulására az észleléstől eltelt idő és a k^{-1} paraméter függvényében exponenciálisan csökken. $5k^{-1}$ esetén a hatás 1% alatti, $6k^{-1}$ esetén 0.5% alatti. Mivel a szabad paraméter értékét előre nem ismerjük, így a *Rodhe* (1952) által javasolt módon 5 napos lépcsőben vesszük fel az 10 és 25 napos tartományon. Így a biztonság javára a 25 napos értéket választva a hozzá tartozó $6k^{-1}$ érték 150 nap, ami nagyjából 5 hónap. A jégjelentési időszak minden év november 15-én kezdődik, így az 5 hónapot visszszámolva június 15-e adódik. Mivel azonban novemberben, egyik esetben sem észleltek jeget, így az egyszerűség kedvéért július 1-ét választjuk a számítás kezdőidőpontjának. *Bilello* (1963) a meg-

előző hónap középhőmérsékletét használja kezdeti feltételnek, így ez esetünkben a 2008. június havi budapesti

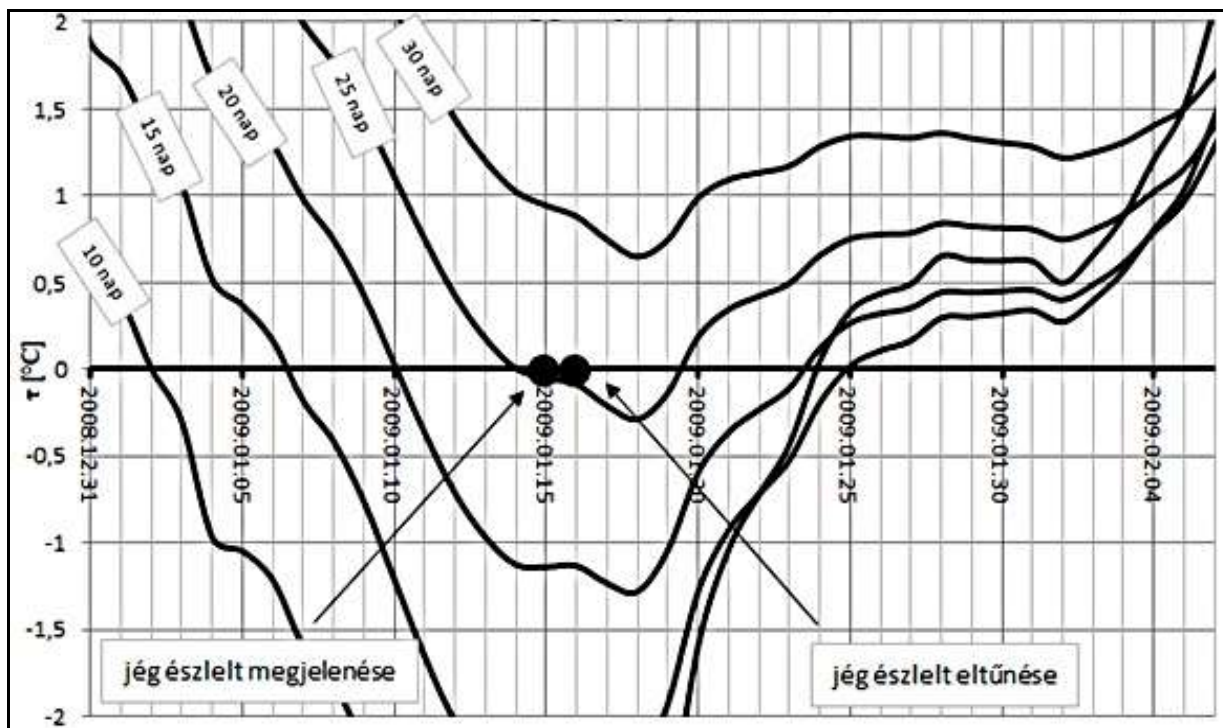
középhőmérséklet lesz, azaz $\tau_0=21,4^\circ\text{C}$. A számítás lépéseit Budapestre táblázatos formában a 2. táblázat mutatja be.

2. táblázat. A súlyozott középhőmérsékletek elvének számítási lépései ($k^{-1}=10$ nap, Duna-Budapest),
Table 2. Calculation steps of the theory of weighted mean temperature ($k^{-1}=10$ days, Danube-Budapest)

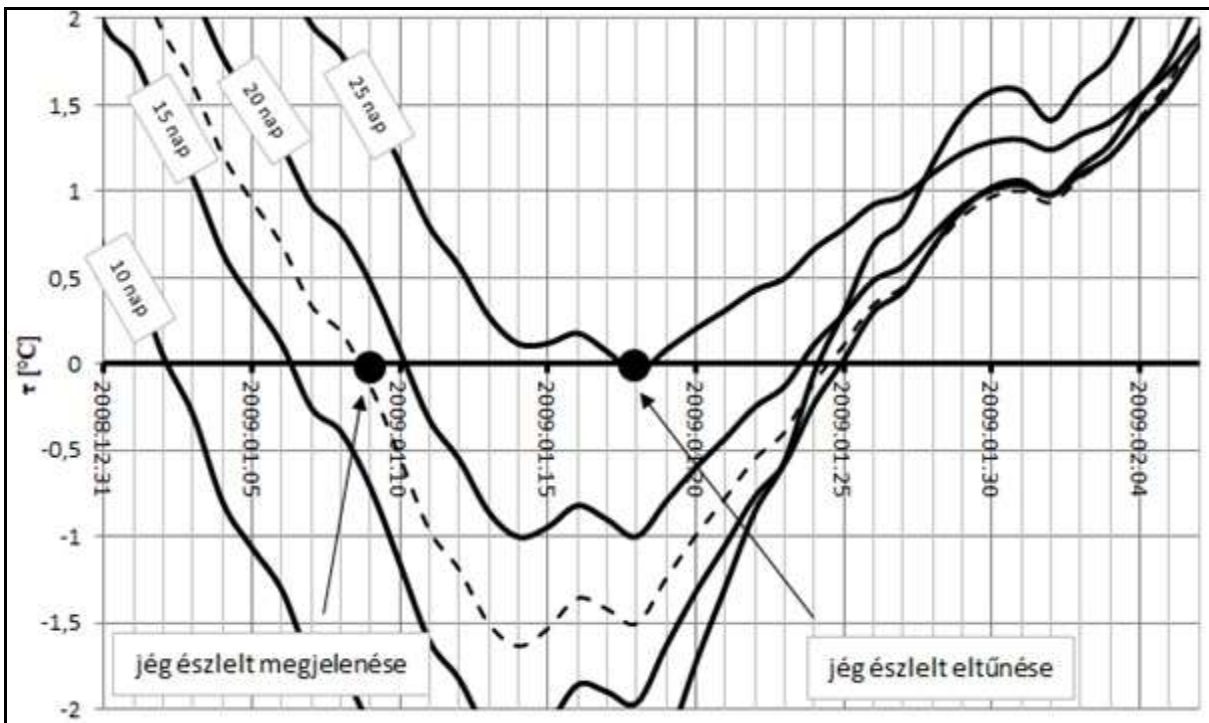
A	B	C	D	E	F
Dátum	Napi középhőmérséklet [°C]	(F_{n-1})	(B-C)	($D \times N$) $N = 1 - e^{-k\Delta t}$ $k^{-1}=10$ nap	τ_n [°C]
					kezdeti feltétel: 21,4
2008.07.01.	22,6	21,40	1,20	0,11	21,51
2008.07.02.	24,1	21,51	2,59	0,25	21,76
2008.07.03.	24,6	21,76	2,84	0,27	22,03
2008.07.04.	22,8	22,03	0,77	0,07	22,10
2008.07.05.	20,8	22,10	-1,30	-0,12	21,98
2008.07.06.	20,5	21,98	-1,48	-0,14	21,84
2008.07.07.	24,3	21,84	2,46	0,23	22,07
2008.07.08.	19,8	22,07	-2,27	-0,22	21,86
...					
2009.01.03.	-3,5	0,04	-3,54	-0,34	-0,29
...					
2009.01.25.	3,7	-0,05	3,75	0,36	0,31
...					
2009.02.28.	4,8	0,65	4,15	0,39	1,05

A számítást 2008.07.01. és 2009.02.28. között végezve a táblázat 243 sort tartalmaz, valamennyi adat közlése felesleges volna. Az első néhány sorban is jól követhetők a számítás lépései. A kezdeti feltételből kiindulva a *D* oszlopban kiszámoljuk az előző napi τ érték (*C* oszlop) és a *B* oszlopban megadott aznapi középhőmérséklet különbségét. Ezt megszorozzuk az $(1 - e^{-k\Delta t})$ tényezővel és az eredményt hozzáadjuk az előző időlépés τ értékéhez, esetünkben a kezdeti feltételhez. A számítást lépésről lépésre tovább folytatva a τ függvény értéke 2009.01.03-án lép

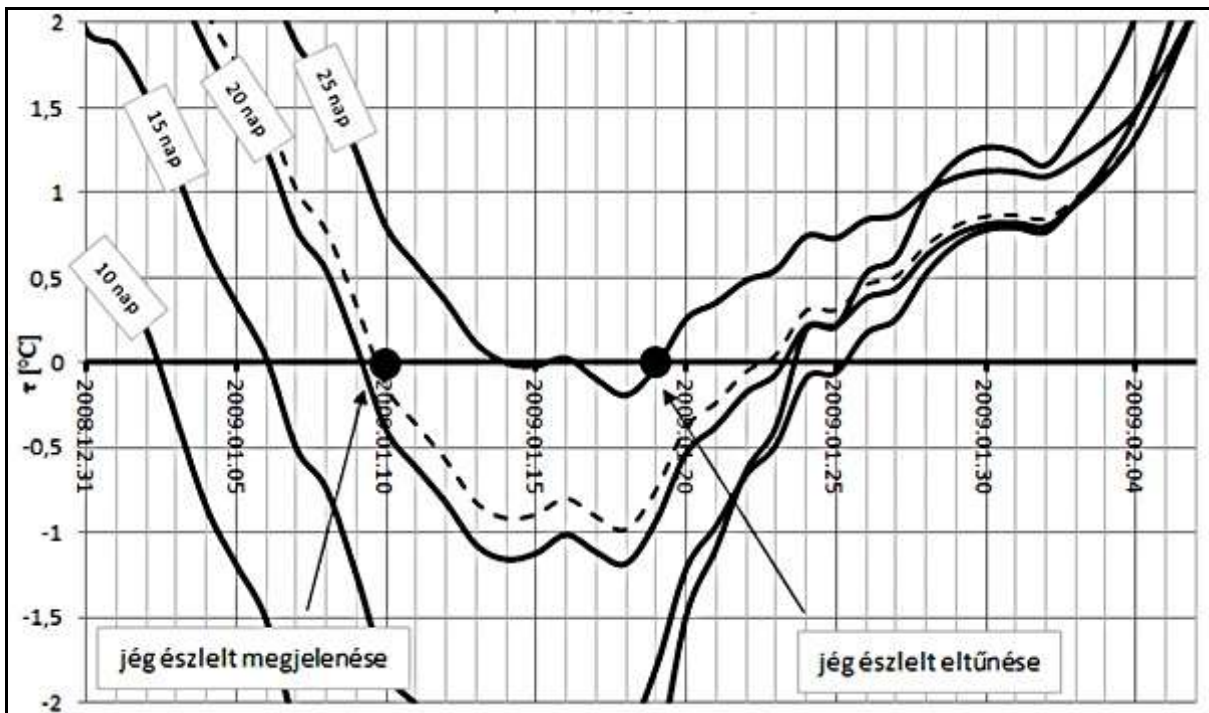
0°C alá, majd 01.25-én melegszik fölé. Az észlelésekből tudjuk, hogy a jeges időszak Budapestnél 01.09. és 01.18. között tartott, így a számításunk 6 napot tévedett a jég megjelenését illetően. Amennyiben a jég eltűnését is vizsgáljuk, azaz a τ függvény újbóli 0°C fölé emelkedésének napját, úgy ott 7 nap eltérést tapasztalunk a számítás és az észlelés között. Amennyiben a számítást mindhárom állomás esetében elvégezzük, és az eredményeket grafikusán ábrázoljuk, az alábbi ábrákat (1-3. ábrák) kapjuk eredményül:



1. ábra. A 2009 januári jeges időszak eredményei a Dunán Nagybjacsnál
Figure 1. Results of the January 2009 icy period on the Danube at Nagybjacs



2. ábra. A 2009 januári jeges időszak eredményei a Dunán Budapestenél
 Figure 2. Results of the January 2009 icy period on the Danube at Budapest



3. ábra. A 2009 januári jeges időszak eredményei a Dunán Paksnál
 Figure 3. Results of the January 2009 icy period on the Danube at Paks

Budapest esetében a jég észlelt megjelenéséhez a 15 és 20 napos τ sorok metszik legközelebb 0°C -hoz tartozó vízszintes tengelyt, így a két érték lineáris interpolációjából megkaphatjuk a helyes értéket. A 15 napos sorozat január 6-án metszi a vízszintes tengelyt, míg a 20 napos január 10-én, így a január 9-re történő lineáris interpoláció eredményeként a 17,4 nap adódik, amely az ábrán szaggatott vonallal jelölt sorozat k^{-1} értéke. Ezt nevezzük el a 2008-2009 jégjelentési időszakra Budapest kalibrált értéknek.

Ugyanezen időszakra Paksnál 21 nap adódik eredményül, míg Nagybajcsnál 25 nap. Mivel a 25 nap a legfelső értékünk, ezért Nagybajcsnál a grafikon szemléletessége végett a 30 napos sorozat is ábrázolásra került.

A számítás során fontos az adathiányok kezelése. Az adathiány átléphető, ha az $(n-1)$ -edik számítást $2\Delta t$ időlépéssel végezzük, vagy ugyanerre az eredményre jutunk, ha az előző napi ismert értékkel helyettesítjük az adathiányt.

Mivel az így bevezetett hiba mértéke függ a napi középhőmérsékletek alakulásától, helyesebb megoldás az ismert adatok interpolációjával feltölteni az adathiányos napokat. A hiba terjedésére és súlyának csökkenésére a kezdeti feltételnél ismertetett összefüggés érvényes.

AZ EREDMÉNY VALIDÁCIÓJA

Amennyiben az ezt követő évek jégadataival a $k^{-1}=17,4$ nap értéket validálni próbáljuk, az alábbi eredményekre jutunk. A validációhoz a számítás a 2008-2009 időszaktól a 2017-2018 időszakig folyamatosan kiterjesztve történt, így lehetőség van a jégmentes évek vizsgálatára is.

Nagybajcsnál a 30 és 25 napos sorozatok nem, de a 20, 15 és 10 napos sorok adnak jeget jégmentes években is. A 2010. januári jégjelenséget a 25 napos kalibrált sorozat 2 nappal korábbra számolja, 2012 februárjában a 20 napos sor napra pontosan, a kalibrált 25 napos 1 nappal később, és 2017 januárjában a 20 napos sor 1 nappal korábban, a 25 napos kalibrált pedig 2 nappal késve jelez jeget.

Budapestnél a 25 napos soron kívül valamennyi sorozat ad jeget jégmentes évben: a 20 napos 2016-ban, a 17,4 napos 2016 és 2013-ban, a 15 napos szintén, a 10 napos pedig 2016, 2015 és 2013-ban is. A jeges éveket nézve a számítás 2010 januárjában a 17,4 napos sorozattal pontosan eltalálta a jég megjelenésének napját. A 2010. decemberi 3 napos időtartamot a 10 és 15 napos sor közelítette meg, így kettejük között találnánk a jó megoldást, viszont minkét sorozat még két jeges időszakot számolt, ami helytelen az észlelések tükrében. A kalibrált sor itt 10 napot késik. 2012 februárjában a 25 napos sorozat 1 nap késéssel adja a jég megjelenését, a kalibrált 17,4 napos sorozat 2 nappal korábban. 2017 januárjában a 20 napos sor napra pontosan adja a jeget, a kalibrált sorozat 1 nappal korábban.

Paksnál a 25 napos sorozat kivételével szintén mindegyik sor ad jeget a jégmentes években is. A jeges éveket tekintve 2010 januárjában a kalibrált 21 napos sorozat 1 nappal korábban ad jeget, 2010 decemberében a 10 napos sor 2 nappal hamarabb metszi a 0°C-os tengelyt, de még két alkalommal tévesen ad jeget, a kalibrált sorozat itt 16 nap késéssel ad jeget. 2012 februárjában a 25 napos sorozat 1 nappal korábban ad jeget, a kalibrált sor 2 nappal korábban, míg 2017 februárjában a 21 napos kalibrált érték napra pontosan adja a jég megjelenését.

3. táblázat. A jégmegjelenés napjának számítási pontossága
Table 3. Accuracy of icy occurrence forecast

Jégjelentési időszak	Jégjelenség		
	Duna		
	Nagybajcs (1801,0 fkm)	Budapest (1646,5 fkm)	Paks (1531,3 fkm)
2008-2009	kalibráció		
2009-2010	-2	0	-1
2010-2011	jégmentes	+10	+16
2011-2012	+1	-2	-2
2016-2017	+2	-1	0

ÖSSZEGRÉS

A fenti eredmények alapján kijelenthető, hogy a súlyozott középhőmérsékletek elve korlátozott érvényességű a Duna hazai szakaszán kiválasztott három szelvényre. A számítá-

sok a jégmentes időszakokban is adtak jeget, de a jég észlelt megjelenését a kalibrált sorozatok, a 2010. decemberi súlyos hibákat kivéve, -2 és +2 napos pontossággal eltalálják.

A módszer kidolgozása a tengeri viszonyokon alapszik, amiből a számítások elvégzése nélkül is könnyű arra következtetni, hogy folyóink vízhőmérsékletének alakulását, és jégviszonyait nem tudja kellő pontossággal leírni. Az alapegyenletről hiányoznak olyan jelentős súlyú tagok, melyek kifejezik a folyó pillanatnyi hidrológiai és hidraulikai viszonyait, és amelyek számottevő mértékben alakítják a jég megjelenéséhez szükséges feltételek előállítását. Az egyenlet megfelelő kiegészítéseivel azonban pontosítható a módszer, így egy olyan előrejelző algoritmus alapját képezheti, ami kellő pontosságú tájékoztatást ad az elkövetkező 10 nap vízhőmérsékletének alakulásáról és a jégviszonyokról.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom munkahelyemnek, az Országos Vízügyi Szolgálatnak, amiért tapasztalatukkal támogatták, rendszereikkel, és nagy gonddal archivált adataikkal pedig lehetővé tették kutatásomat. A tanulmányhoz külső finanszírozási forrást nem vettem igénybe, a kutatást saját költségemre a doktori kutatásom részeként végeztem.

IRODALOMJEGYZÉK

- Bakonyi P. (1987). *A jégtorlaszképződés numerikus modellezése*. Vízügyi Közlemények. 69/4, 548-556.
- Bilello, M., E. (1963). *Method of predicting river and lake ice formation*. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover.
- Bogárdi J., Kozák M. (1978). *Hidraulika II*. Budapesti Műszaki Egyetem, Tankönyvkiadó Vállalat
- Bogdánfy Ö., Péch J. (1902). *Az 1900. évi paksi jégtorlás*. XI. Vízirajzi Évkönyv. Budapest.
- Bogdánfy Ö. (1911). *Kása és fenékjég a folyókban*. Vízügyi Közlemények. 1/1, 56-59.
- Csoma J. (1968). *A Tisza jégjelenségeinek előrejelzése*. Vízügyi Közlemények. 50/3, 326-365.
- Hajós S. (1912). *Az 1909. évi szigai jégtorlás megbontása*. Vízügyi Közlemények. 2/1, 24-42.
- Horváth S. (1960). *A folyócsatornázás hatása a Középduna jégjárására*. Vízügyi Közlemények. 42/4, 537-570.
- Horváth S. (1979). *A Duna jégviszonyai*. VITUKI Közlemények, Budapest.
- Ihrig D. (1935). *Az 1935. évi mohácsi jegesárvíz*. Vízügyi Közlemények. 17/3, 488-495.
- Keve G. (2002). *A jégmegfigyelés korszerűsítésének lehetőségei*. Vízügyi Közlemények. 84/3, 358-378
- Keve G. (2010). *Space-time ice monitoring of Danube in Hungary by multiple webcams*. River Flow 2010 (szerk.: Dittrich A, Koll K, Aberle J, Geisenhainer P). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau, 721-728.
- Keve G. (2012). *2012. évi dunai jégészlelés tapasztalatai*. ADU-NEKI beszámoló jelentés a 2012. évi dunai jégészlelésről. Baja.

Keve G. (2017). *Space-time ice monitoring of the Hungarian Lower-Danube*. Periodica Polytechnica-Civil Engineering. 61/1, 27-38.

Lászlóffy W. (1934). *Folyóink jégviszonyai különös tekintettel a magyar Dunára*. Vízügyi Közlemények. 16/3, 369-435.

Lászlóffy W. (1947). *A jeges árvizekről*. Hidrológiai Közöny, Budapest, 27/1-4, 9-16.

Lászlóffy W. (1949). *A folyók jégviszonyai*. Magyar Technika, 2-15.

Leppäranta M. (2015). *Freezing of lakes and the evolution of their ice cover*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Mayer I. (1987). *A jégtorlaszok kialakulásának hidraulikai vizsgálata*. Vízügyi Közlemények. 69/4, 527-547.

Palosuo E. (1958). *Methods used in the ice service in the Baltic*. Arctic Sea Ice: Proceedings of the Conference.

National Academy of Sciences – National Research Council. Washington D.C.

Rodhe B. (1952). *On the relation between air temperature and ice formation in the Baltic*. Geografiska Annaler. 34, 175-202, Stockholm

Rodhe B. (1955). *A study of the correlation between the ice extent, the course of air temperature and the sea surface temperature in the Åland Archipelago*. Geografiska annaler, 37, 141-163, Stockholm

Starosolszky Ö. (1969). *A jég a vízépítésben*. Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet. Budapest.

Starosolszky Ö. (1989). *A vízlépcsők hatása a jégjárásra*. Vízügyi Közlemények. 71/3, 374-386.

Zsilák E. (1974). *A nagyfedettségű, telített jégmozgás néhány elméleti kérdése*. Vízügyi Közlemények. 55/1, 105-113.

A SZERZŐ



LIPTAY ZOLTÁN ÁRPÁD MSc okleveles infrastruktúra-építőmérnöki diplomát szerzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen 2011-ben. A Pécsi Tudományegyetem Földtudományok Doktori Iskolájának doktorjelöltje 2015-től. Kutatási témája a numerikus hidrológiai modellezés és folyami jégviszonyok előrejelzése. 2015-től az Országos Vízügyi Szolgálat előrejelzője, az MTA ÖK Víztudományi Koordinációs Csoport tagja, víztudományi tanácsadó. Korábban a Dán Hidraulikai Intézet mérnöke. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja 2009 és 2015 között.

Hullámtér-feltöltődés vizsgálata az Alsó-Tisza mentén. II. Folyóhátak (parti hátak) feltöltődését befolyásoló tényezők

Nagy Judit*, Kiss Tímea*, Fiala Károly**

*Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2.

**Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, Vízgazdálkodási és Vízirajzi Monitoring Osztály, 6720 Szeged, Stefánia 4.

Kivonat

A kanyarulatok külső ívén épülő folyóhátak (parti hátak) a hullámtér legmagasabb formái, hiszen egy-egy árvíz során itt halmozódik fel a legvastagabb hordalék. Jelen tanulmány célja a folyóhátak magasságát, szélességét és fejlődésük ütemét befolyásoló tényezők vizsgálata. Eredményeink szerint a folyóhátak magasságát meghatározó tényezők szerepe jelentősen eltérhet a kanyarulatok fejlettségi szintjétől függően, hiszen az ál- és fejletlen kanyarulatok mentén magasságukat elsősorban a hullámtér szélessége határozza meg, míg a fejlett és érett kanyarulatok mentén a görbületi sugár is befolyásolja a folyamatot. Ezzel szemben a folyóhátak szélességét – függetlenül a kanyarulat fejlettségétől – a hullámtér szélessége befolyásolja. A folyóhátakon a hordalék-felhalmozódás üteme a sodorvonal helyzetével mutat kapcsolatot. Minél közelebb van a sodorvonal a parthoz, annál kisebb a felhalmozódás sebessége, ami az árvizek során fellépő intenzívebb erózióknak köszönhető. A partbiztosítások hatása a felhalmozódott hordalék vastagságára nem mutatható ki egyértelműen, hiszen hasonló átlagos üledékvastagság jellemző a partbiztosított és a partbiztosítás nélküli szakaszokon is. A hordalék-felhalmozódás üteme gyorsuló tendenciát mutat, hiszen míg a 175 évnél idősebb folyóhátak fejlődési üteme $\leq 10-21$ mm/év, addig a csupán 40 éve fejlődők 67-101 mm/év ütemben magasodnak.

Kulcsszavak

Feltöltődés, folyóhát, görbületi sugár, sodorvonal, hullámtér-szélesség, partbiztosítás

Floodplain aggradation along the Lower Tisza. Part II: Natural levee formation and its influencing factors

Abstract

Natural fluvial levees are significant floodplain features, since large amount of sediment is deposited on their surface during floods. The aim of this research is to analyse the local influencing factors on the height, width and sedimentation rate of natural levees. The results suggest that the height of natural levees significantly depends on the sharpness of meanders. Along slightly sinuous bends the height of levees are primarily affected by the width of floodplain, while along sinuous meanders the radius of curvature of the channel also has considerable effect on levee formation. In contrary, the width of natural levees is solely determined by floodplain width. The sediment accumulation rate has strong (negative) correlation to thalweg location, since the closer is the thalweg to the riverbank the slower is the rate of accumulation, thus during floods erosion can lower the natural levees. The effects of revetments could not be proved, since the thickness of deposited sediment is very similar along the meanders with and without revetments. The rate of accumulation shows an increasing temporal tendency, since natural levees older than 175 years have 10-21 mm/y accumulation rate, while levees younger than 40 years grow by 67-101 mm/y.

Keywords

Floodplain sedimentation, natural levee, radius of curvature, thalweg, floodplain width, revetments

BEVEZETÉS

A hullámterek markáns akkumulációs formái a folyóhátak. A hazai szakirodalomban különböző elnevezések vonatkoznak erre a magas, a kanyarulatok külső íveit és egyenes szakaszait szegélyező formára. Egyes cikkekben övzationynak (Nagy és társai 2001, Szlávik 2001, Schweitzer és társai 2002), míg mások parti hátnak nevezik (Gábris 2003, 2016). Azonban, mivel több geomorfológiai tankönyv (pl. Borsy 1993, Lóczy és Veress 2005) is folyóhátként jelöli ezt a formát, jelen tanulmányban is ezt az elnevezést használjuk.

A folyóhátak alapvető szerepet töltenek be az árvizek során a hullámtérre kijutó hordalékmennyiség szabályozásában (Brierley és társai 1997). A hazai szakirodalomban leginkább a folyóhátak formálódásával és szemcseösszetételével, valamint fejlődésük ütemével foglalkoztak (pl. Nagy és társai 2001, Kiss és társai 2002, Sándor és Kiss 2006, 2007). Azonban mivel csak egy-egy formán végeztek a méréseket, nem vizsgálták azt, hogy térben hogyan

változott a méretük, illetve hogy milyen helyi hatótényezők befolyásolják formájukat és fejlődésük ütemét.

Az Alsó- és a Közép-Tiszán végzett kutatások (Sándor és Kiss 2007, Sándor 2011, Kiss 2014) kimutatták a hullámtér – és ezen belül a folyóhátak – gyorsuló feltöltődését, amelynek háttérében elsősorban a hidrológiai viszonyok megváltozása, a növényzet-, illetve területhasználatváltozás áll. Az 1960-as évektől egyre magasabb és hosszabb lefutási idejű árvizek tapasztalhatók, továbbá sűrűbbé vált a hullámtéri növényzet is, hiszen az 1980-as évektől elterjedtek az özönnövények, ami kedvez a hordalék akkumulációjának (Sándor 2011). A változások eredményeként a hullámtér feltöltődésének üteme megduplázódott, hiszen míg az 1960-as évek előtt a hordalék-felhalmozódás átlagos üteme 20 mm/év volt, addig az azt követő évtizedekben már 46 mm/év (Kiss 2014). Egy-egy árvíz során felhalmozódott üledék vastagságát Mindszentnél mérjük 1998 óta. A partél mentén, a folyóhátan rakódik le a legvastagabb hordalék ($\geq 10-50$ mm), azonban az intenzív akkumuláció sávja egyre szűkül, amelynek háttérében

az egyre sűrűbbé váló partmenti növényzet állhat (Kiss 2014).

A nemzetközi szakirodalomban több tanulmány is részletesen foglalkozott a folyóhátak formálódását befolyásoló lokális tényezőkkel. A folyóhátak fejlődését befolyásolhatja az ártér/hullámtér szélessége (Klasz és társai 2014), a kanyarulatok fejlettsége (Cazanacli és Smith 1998), a kanyarulatok görbületi sugara (Hudson és Heitmüller 2003), a meder szélessége (Smith és Pérez-Arlucea 2008), a sodorvonal helyzete (Uddin és Rahman 2012), a partbiztosítások (Brinkle és társai 1998, Klasz és társai 2014) illetve a folyó által szállított hordalék szemcseösszetétele is (Cazanacli és Smith 1998).

Jelen tanulmányban célunk az Alsó-Tisza Csongrád és szerb országhatár közötti szakaszán a kanyarulatok külső ívén fejlődő folyóhátak magasságát és fejlődésük ütemét befolyásoló tényezők vizsgálata. Célunk a folyóhátak magassága és szélessége, illetve a meder görbületi sugara, a hullámtér szélessége, a sodorvonal helyzete és partbiztosítások megléte közötti kapcsolat geomorfológiai szemléletű elemzése.

MÓDSZEREK

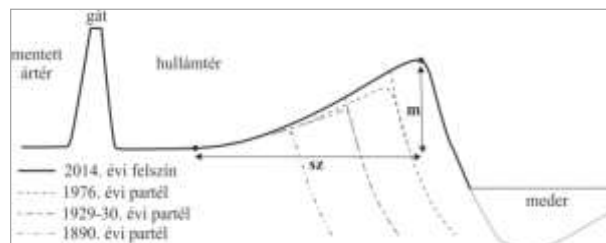
A folyóhátak méreteit egy 0,5x0,5 m-es felbontású, 2014-ben készült LiDAR felvétel (vertikális pontossága $\pm 0,1$ m) segítségével vizsgáltuk. Relatív magasságukat a mentett ártéri területekhez viszonyítva számítottuk ki, amelynek magasságához egy 5x5 m-es felbontású, az 1979 és 1985 között készült M=1:10000 topográfiai térkép alapján létrehozott digitális domborzat modellt (DDM) használtunk. Utóbbi vertikális pontossága ± 70 cm, ami azt sugallja, hogy eredményeink fenntartással kezelendők, de csak akkor lehet pontosabb eredményeket kapni, ha a mentett oldalról pontosabb felvételezés készül a jövőben. Az elemzéseket ArcGIS 10.1 program segítségével végeztük.

A kanyarulatok külső ívén épülő folyóhátak magasságát és szélességét egyetlen időpontban, azaz csak a 2014-es LiDAR felvételen határozhattuk meg. A folyóhátak legnagyobb magasságát kanyarulatonként, azok felső, középső és alsó harmadában mértük le a mentett oldal (gátépítéskori felszín) átlagmagasságához képest. A formák szélességét kereszt-szelvények alapján határoztuk meg a partél és azon pont között, ahol a folyóhát az ártérbe simul (1. ábra).

Ezeket a magasság és szélesség adatokat vetettük össze a meder jelenlegi görbületi sugarával, a hullámtér (jobb és baloldali, illetve teljes) szélességével, a sodorvonal helyzetével (1976. évi mederfelmérés), illetve a partbiztosítások meglétével és korával.

A szabályozások óta a kanyarulatok vándorolnak, tehát a partélek elmozdulhattak, ezért a folyóhátak épülése eltérő időpontokban kezdődött el. Kialakulásuk kezdete alapján három csoport különíthető el. (1) A kanyarulatok átvágásakor az új mederszakaszok mentén új folyóhátak születtek, tehát fejlődésük kezdete az adott mederátvágás évére tehető. (2) Vannak olyan folyóhátak, amelyek szűkülő meder mentén alakultak ki. Ilyen esetekben a folyóhát maximum korát az adott felszín ártérként való ábrázolásának évében határoztuk meg a Tisza-felmérések (1890,

1929-30 és 1976) alapján. Például a 2014-es LiDAR felvételen azonosítottunk egy folyóhátat, de a jelenlegi helyzete alapján az 1890. évi felmérésen még a mederben lenne (tehát ekkor még nem létezett), de az 1929-30. évi felmérésen már ezen a helyen ártér volt, tehát képződése leghamarabb 1891-ben indulhatott el. (3) Végül vannak olyan szakaszok is, ahol a meder alig (vagy nem) mozdult el 1838-42 („Tisza hajdan és most”) óta, tehát az itt lévő folyóhátak legalább 175 évesek.



1. ábra. A folyóhát magasságának (m) és szélességének (sz) mérési helye, illetve a felhalmozódás ütemét befolyásoló partél változásai

Figure 1. Determination of the height (m) and width (sz) of a fluvial levee, and bankline changes influencing the rate of aggradation

A folyóhátakon zajló hordalék-lerakódás ütemét (A) a jelenlegi partél (2014) és az ezt megelőző legutolsó ismert partél helyzete közötti folyóhát területre végeztük el (1. ábra). Mivel a folyóhátaknak csak a jelenlegi, 2014-es magasságát (m) ismerjük, ezért csak azt lehet meghatározni, hogy 2014-es és az utolsó ismert partél helyzetének éve (Tu) közötti időszakban mennyi volt a feltöltődés üteme (mm/év).

$$A_{2014-Tu4} = \frac{m}{2014 - Tu}$$

EREDMÉNYEK

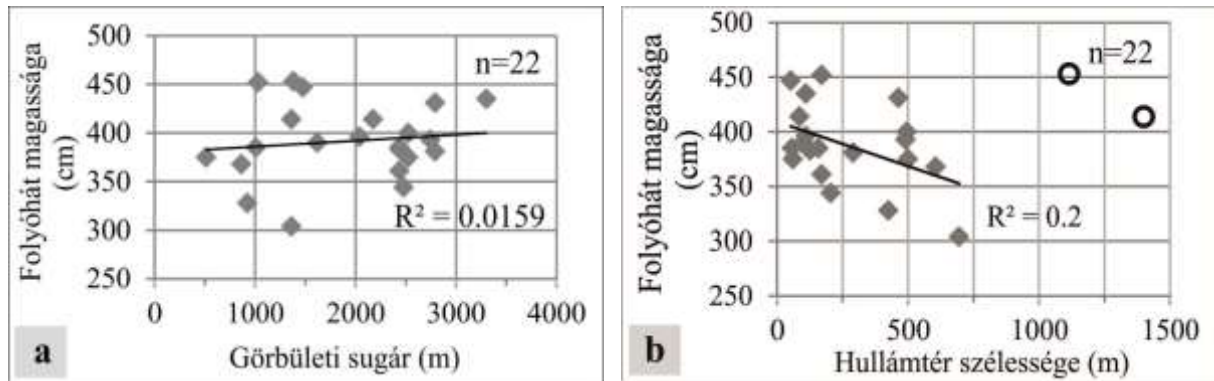
A hullámtér feltöltődésének vizsgálatokor (ld. Nagy és társai: Hullámtér-feltöltődés vizsgálata az Alsó-Tisza mentén I. Hullámtér-szélesség és beömlő mellékfolyók hatása az akkumulációra) egyértelműen kiderült, hogy a kanyarulatok külső ívén épülő folyóhátak a feltöltődés kitüntetett helyei, ezért elemeztük, hogy a medernek milyen paraméterei befolyásolják magasságukat és fejlődésük ütemét. Mindezt a kanyarulatok fejlettségének függvényében vizsgáltuk meg. A kanyarulatokat két nagy csoportra osztottuk Laczay (1982) osztályozása alapján: (1) ál- és fejletlen, illetve (2) fejlett és érett kanyarulatokra. Ez azért lényeges, mert a hordalék felhalmozódása a kanyarulat fejlettségi fokától függően eltérő mértékű lehet, és ugyanazon akkumulációt befolyásoló tényező hatása is másképpen nyilvánulhat meg.

A görbületi sugár és a hullámtér-szélesség hatása a folyóhátak magasságára

A kanyarulatok görbületi sugara alapvetően meghatározza a centrifugális erő mértékét (Hudson és Heitmüller 2003), így hatása lehet a partokon túl jutó víz áramlási irányára és sebességére, ami befolyásolja a folyóhátak kialakulását. A hullámtérre kilépő víz áramlási viszonyai jelentősen különbözhetnek az ál- és fejletlen, illetve a fejlett és érett kanyarulatok között, de a hullámtér szélessége még ilyenkor is domináns tényező lehet, ezért hatásukat együtt

vizsgáltuk. Az ál- és fejletlen kanyarulatok mentén a folyóhátak magassága és a meder görbületi sugara nem mutat szoros kapcsolatot (2a. ábra), de a hullámtér szélességével már összefüggést mutat, ugyanis a vizsgált ál-és fejletlen kanyarulatok 60%-a mentén a hullámtér szűkebb, mint 200 m (2b. ábra). A hullámtér szélességének hatását

azonban felülírhatják bizonyos helyi hatótényezők. Például a levágott kanyarulatok (Sulymostó- és Mártélyi-holtág) végén felhalmozódott hordalék-dugók (malágy) felszínén, a partközeli szűkebb sávban vastag (453 cm és 414 cm) hordalék-lerakódás figyelhető meg, holott a hullámtér széles (1115 m és 1400 m).



2. ábra. A folyóhát magassága és a kanyarulat görbületi sugara (a), valamint a folyóhát magassága és a hullámtér-szélesség közötti kapcsolat (b) az ál- és fejletlen kanyarulatok mentén

(Megjegyzés: A fekete körök azokat a folyóhátakat jelölik, amelyek esetében a folyóhát magasságát nem a hullámtér szélessége, hanem más lokálisan ható tényező - pl. holtágak végén kialakult malágy - határozza meg.)

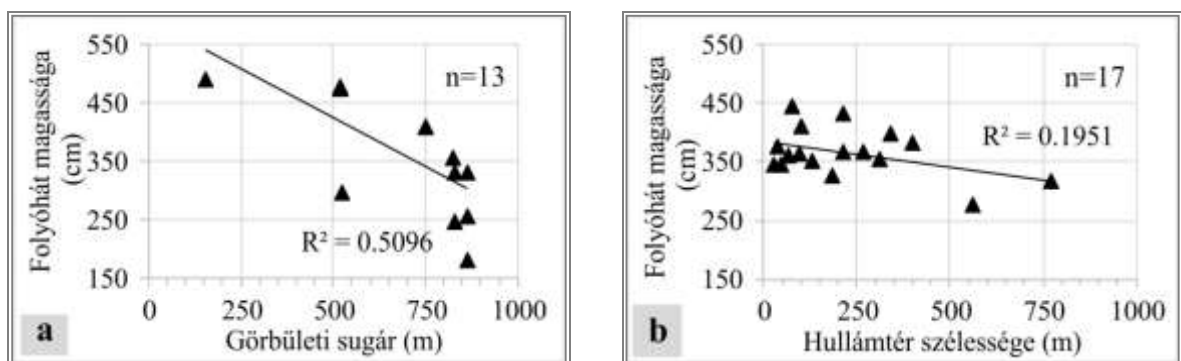
Figure 2. Relationship between the radius of curvature and natural levee height (a), and the floodplain width and natural levee height (b) in case of slightly sinuous bends

(Legend: black circles indicate those points, where the height of the natural levee is determined by local factors - e.g. sediment plug at the end of an ox-bow - instead of floodplain width.)

A fejlett és érett kanyarulatok közel felénél mutatható ki a folyóhátak magassága és a meder görbületi sugara közötti kapcsolat (3a. ábra). Azoknál, amelyeknél nincs kapcsolat ezen két paraméter között, ott a folyóhátak magassága a hullámtér szélességével mutat összefüggést (3b. ábra). A kis görbületi sugárral rendelkező kanyarulatok mentén magasabb folyóhátak alakulnak ki, amelynek oka, hogy a kisebb görbület miatt a víz a kanyarulat középső és alsó harmadában nagyobb erővel léphet ki a hullámtérre (Sándor 2011). A görbületi sugár leginkább azokon a szakaszokon határozza meg a felhalmozódás vastagságát,

ahol a hullámtér széles (≥ 200 m) és így lehetőség van magasabb és szélesebb folyóhátak kialakulására. A Mártélyi-holtágtól folyásirányban lefelé nem találhatóak olyan kanyarulatok, amelyek mentén a folyóhátak magasságát a görbületi sugár befolyásolná, mivel itt a meder kanyargósága jóval kisebb.

A folyóhátak magasságát és hullámtér szélességét megvizsgálva megállapítható, hogy a szűk (< 500 m) hullámtéri területeken magas (345-445 cm), míg szélesebb hullámtéren (> 500 m) alacsonyabb (275-317 cm) folyóhátak alakulnak ki.



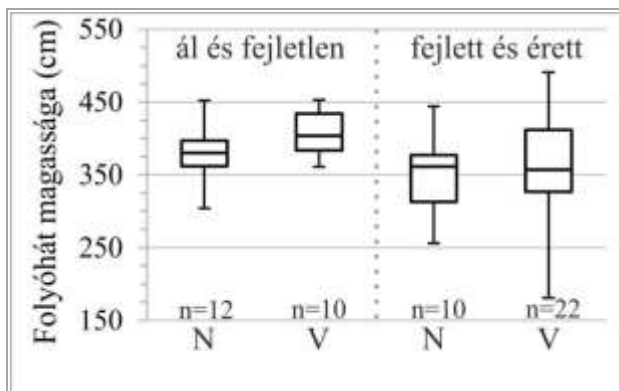
3. ábra. A folyóhát magassága és a görbületi sugár (a), valamint a hullámtér-szélesség (b) közötti kapcsolat a fejlett és érett kanyarulatok mentén

Figure 3. Relationship between the radius of curvature and natural levee height (a), and the floodplain width and natural levee height (b) in case of sinuous bends and meanders

A partbiztosítások hatása a folyóhátak magasságára

A Tisza vizsgált szakaszán 39 kanyarulat található, amelyek közül 26 mentén építettek partbiztosítást. Ezért fontosnak tartottuk megvizsgálni, hogy a Tisza mentén a partbiztosítások vajon befolyásolják-e a folyóhátak átlagos magasságát.

Az ál- és fejletlen kanyarulatok mentén a partbiztosított szakaszok menti folyóhátak átlagmagassága 408 cm, míg a partbiztosítás nélküli szakaszokon 378 cm. A fejlett és érett kanyarulatok mentén is hasonló tapasztaltunk (4. ábra). A partbiztosított szakaszokon a folyóhátak átlagmagassága 364 cm, a partbiztosítás nélküli szakaszokon pedig 349 cm. Ez a 20-30 cm-es magasságkülönbség a partbiztosított és anélküli szakaszokon azonban – figyelembe véve a módszer hibáit – nem bizonyítja egyértelműen, hogy a partbiztosított szakaszok mentén magasabb folyóhátak fejlődnek.



4. ábra. A partbiztosítások hatása a folyóhátak magasságára ál- és fejletlen, illetve fejlett és érett kanyarulatok mentén (N: nincs partbiztosítás, V: van partbiztosítás)

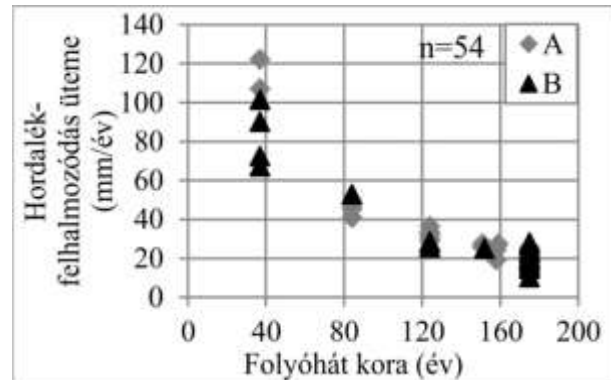
Figure 4. Effect of revetments on natural levee height in case of slightly sinuous and sinuous bends (N: no revetment, V: revetment bank)

A hordalék-felhalmozódás ütemének alakulása

A legtöbb folyóhát fejlődése a szabályozások óta zajlik, de vannak olyanok is, amelyek már a szabályozások előtt is léteztek. Utóbbiak legalább 175 éve épülnek, felszínükön a hordalék-felhalmozódás átlagos üteme a legkisebb (≤ 28 mm/év).

A folyóhátak fejlődésének ütemében az ál- és fejletlen kanyarulatok, illetve a fejlett és érett kanyarulatok között különbségek fedezhetők fel (5. ábra). Az ál- és fejletlen kanyarulatok leginkább a szabályozott szakaszokon jellemzőek, így a mellettük kialakuló folyóhátak 160 évnél fiatalabbak. Ezzel ellentétben a fejlett és érett kanyarulatok egy része szabályozások előtti, így folyóhátuk már a szabályozási munkálatok megkezdése előtt is léteztek. Azonban mindkét kanyarlati csoport esetében megfigyelhető a felhalmozódás ütemének növekedése. Az ál- és fejletlen kanyarulatok mentén a 160 évnél idősebb folyóhátak átlagos fejlődési üteme ≤ 22 mm/év, míg a fiatalabb formáknál felgyorsuló feltöltődés figyelhető meg, így a kb. 40 éve épülő folyóhátak már átlagosan 107-122 mm/év ütemmel

épülnek. A fejlett és érett kanyarulatok mentén is hasonló tendenciát tapasztaltunk: a leghosszabb ideje fejlődő folyóhátak felhalmozódása bár nagyobb szórást mutat, de feltöltődési ütemük csupán ≤ 10 -21 mm/év, míg a legfiatalabb, csupán 40 éve fejlődő folyóhátak fejlődése 67-101 mm/év közötti. A legnagyobb ütemű felhalmozódás (>75 mm/év) a Mindszent és Mártély közötti szakaszra (205,3-218,4 fkm) jellemző.

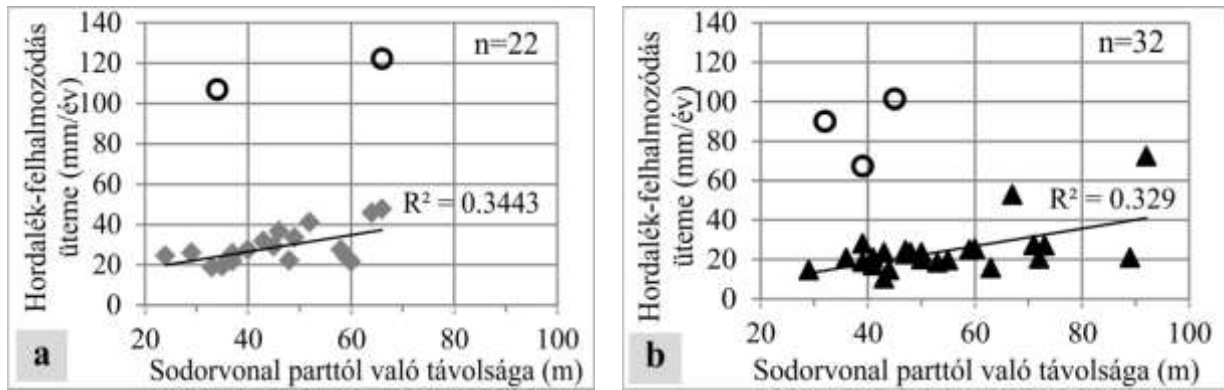


5. ábra. A folyóhátak időben változó feltöltődési üteme ál- és fejletlen (A), valamint fejlett és érett kanyarulatok mentén (B)
Figure 5. Temporal changes in aggradation rate of fluvial levees in case of slightly sinuous bends (A) and sinuous meanders (B)

A felhalmozódás üteme tehát nagyobb az ál- és éretlen kanyarulatok esetében, mint a fejlett és érett kanyarulatoknál. Ennek okát abban látjuk, hogy a szabályozások során kialakított vezérárkokat a Tiszának először ki kellett szélesíteni és mélyíteni, ami jelentős mennyiségű többlet hordalék-termeléshez vezetett (Iványi 1948), így ezeken a szakaszokon több hordalék halmozódhatott fel az ártéren a kezdeti időszakban.

Azonban a hordalék-felhalmozódás ütemének általános gyorsulása számos tényező megváltozásának lehet az eredménye. A part menti növényzet sűrűbbé válása, az árvizek magasságának és tartósságának növekedése mind okozhatja a feltöltődés ütemének gyorsulását (Sándor és Kiss 2007, Sándor 2011)

Az ál- és fejletlen, valamint a fejlett és érett kanyarulatok esetében is a hordalék-felhalmozódás üteme a sodorvonal helyzetével áll a legszorosabb kapcsolatban, bár ez a kapcsolat is gyenge (6a. és 6b. ábra). Mindkét kanyarlati csoport esetén megfigyelhető, hogy minél távolabb van a sodorvonal a parttól, a folyóhátak annál gyorsabb ütemben magasodnak. Ez azzal magyarázható, hogy a parthoz egyre közelebb simuló sodorvonal megteremti a lehetőséget nemcsak a fokozott feltöltődésnek, de az erózióknak is, hiszen a partmenti sávban árvíz idején jelentős erózió is felléphet, amely csökkenti a hordalék-felhalmozódás átlagos éves ütemét (Uddin és Rahman 2012). Természetesen itt is vannak kivételek, amelyek esetében fokozott a feltöltődés sebessége. Ezek a pontok egymáshoz közel található ott, ahol egyéb okok miatt a legnagyobb ütemű a hullámtér feltöltődése.



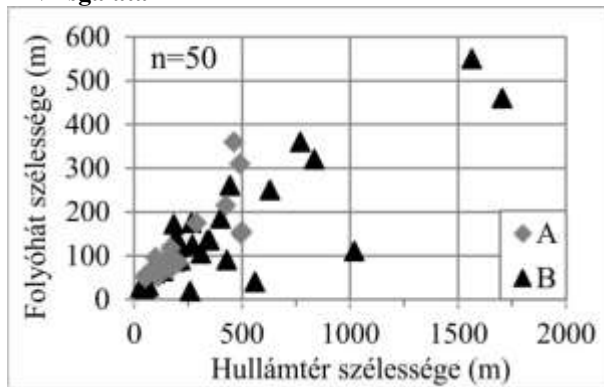
6. ábra. A folyóhátak feltöltődési üteme ál- és fejletlen (a), valamint fejlett és érett kanyarulatok (b) mentén a sodorvonal parttól való távolságának függvényében

(Megjegyzés: A fekete körök azokat a folyóhátakat jelölik, amelyek esetében a trendtől eltérően fokozottabb a hordalék-felhalmozódás sebessége.)

Figure 6. Relationship between the distance of the thalweg and aggradation rate of fluvial levees in case of slightly sinuous bends (a) and sinuous meanders (b)

(Note: circles indicate those fluvial levees, where the rate of aggradation is exceptionally high and does not fit to the main trend.)

A folyóhátak szélességét befolyásoló tényezők vizsgálata



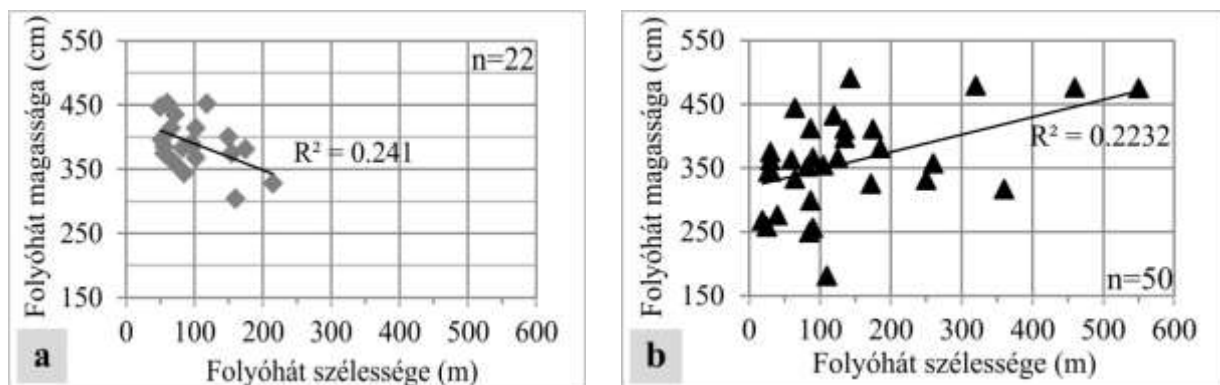
7. ábra. A folyóhátak szélessége és a hullámtér szélessége közötti kapcsolat ál- és fejletlen (A), valamint fejlett és érett kanyarulatok (B) mentén

Figure 7. Relationship between the width of fluvial levees and floodplain width in case of slightly sinuous (a) and sinuous (B) bends

A folyóhátakon akkumulálódott hordalék vastagsága és a felhalmozódás üteme mellett megvizsgáltuk, hogy a

folyóhátak szélessége milyen tényező(k)től függhet. Az adatok azt mutatják, hogy a folyóhátak szélességét egyértelműen meghatározza a rendelkezésre álló tér nagysága, azaz az adott oldali hullámtér szélessége. Minél szűkebb a hullámtér, annál keskenyebb folyóhát tud csak kialakulni. Ez igaz mind az ál- és fejletlen kanyarulatok, mind pedig a fejlett és érett kanyarulatok csoportjára (7. ábra).

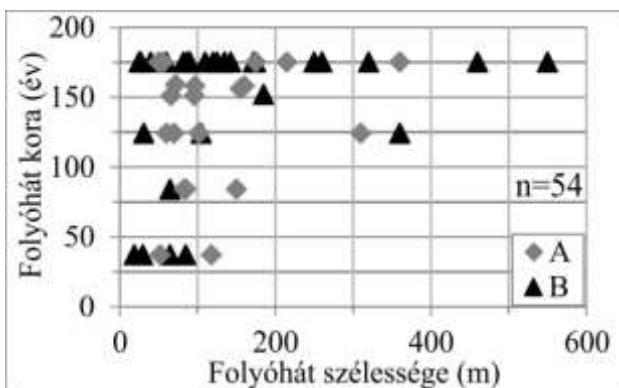
A folyóhátak magasságának és szélességének kapcsolatát is elemeztük. Az ál- és fejletlen kanyarulatok mentén kialakult folyóhátak általában keskenyek (100-200 m), de magasak (300-460 cm) (8a. ábra). Horizontális fejlődésüket alapvetően korlátozza a közeli árvízvédelmi töltés, amelyek a legtöbb esetben 200 m-nél közelebb vannak a mederhez, így itt a folyóhátak magassága és szélessége is egyenesen arányos a hullámtér szélességével. A fejlett és érett kanyarulatok esetében azonban jóval nagyobb szórást mutatnak az adatok (8b. ábra). Ezt az okozhatja, hogy ezek mentén a folyóhátak magassága több tényező függvénye, míg szélességüket egyértelműen a hullámtér szélessége határozza meg, így a folyóhátak magassága és szélessége között nem figyelhető meg egyértelmű arányosság.



8. ábra. A folyóhátak magassága és szélessége közötti kapcsolat ál- és fejletlen (a), valamint fejlett és érett kanyarulatok (b) mentén

Figure 8. Relationship between the width of the fluvial levee and its height in case of slightly sinuous bends (a) and sinuous meanders (b)

A folyóhátak szélességét koruk alapján is megvizsgáltuk (9. ábra), ami azt mutatja, hogy minél hosszabb ideje fejlődik a folyóhát, annál szélesebb forma jött létre. Mindkét kanyarlati csoportnál nagy szórást mutat a szabályozási munkálatok előtt is meglévő folyóhátak szélessége. Ennek oka, hogy a folyóhátak fejlődését azóta nagyban befolyásolja a hullámtér szélessége, így hiába fejlődik hosszú ideje az adott forma, a korlátozott hely miatt jóval keskenyebbé vált az elmúlt kb. másfél évszázad alatt. Ennek ellenére megfigyelhető, hogy a legfiatalabb folyóhátak jóval keskenyebbek (max. 120 m). A legjelentősebb különbség a különböző fejlettségű kanyarulatok között a leghosszabb ideje fejlődő folyóhátak szélességében van. Míg az ál- és fejletlen kanyarulatok mentén a legszélesebb folyóhát 360 m, addig a fejlett és érett kanyarulatok akár 550 m széles forma is kialakulhatott.



9. ábra. A folyóhátak szélessége és kora közötti kapcsolat különböző fejlettségű kanyarulatok esetén (Megjegyzés: A: ál- és fejletlen kanyarulatok, B: fejlett és érett kanyarulatok)
Figure 9. Relationship between the width and age of natural levees
(Legend: A: slightly sinuous bends, B: sinuous meanders)

ÖSSZEGZÉS

A kanyarulatok külső ívén fejlődő folyóhátak vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy magasságukat, szélességüket és fejlődésük ütemét számos tényező befolyásolja, és ezen tényezők hatása eltérhet a kanyarulatok fejlettségi szintjétől függően. A folyóhátak magasságát az ál- és fejletlen kanyarulatok mentén szinte kizárólag a hullámtér szélessége határozza meg. Szűk hullámtéren ez a megállapítás igaz a fejlett és érett kanyarulatok mentén kialakuló folyóhátakra is. Azonban a tág hullámtérű szakaszokon – mivel ott már a rendelkezésre álló hely nem korlátozott – a folyóhát magasságát a görbületi sugár befolyásolja.

A folyóhátak szélességét mind a két vizsgált kanyarlati csoport esetén a hullámtér szélessége alapvetően befolyásolja, ugyanis az árvízvédelmi töltés több helyen olyan közel fut a mederhez (<200 m), hogy csak igen keskeny folyóhátak képesek kialakulni.

A folyóhátakon a hordalék-felhalmozódás üteme átlagosan 33 mm/év, bár folyóhátanként jelentősen változik (10-122 mm/év). Az egy-egy árvízi esemény után lerakódó hordalék mennyiségét vizsgáló kutatások azonban ennél jóval nagyobb értékeket mértek. Például Nagy és társai (2001) 100-450 mm, Kiss és társai (2002) 400-500 mm, míg Sándor és Kiss (2007) legalább 50 mm vastagságú fel-

halmozódást mért a folyóhátakon egy-egy árvíz után. Az általunk számított alacsonyabb értékek abból adódhatnak, hogy (1) a hullámtér nem minden évben kerül árvízi előntés alá, illetve (2) a folyóhátak anyaga erodálódhat is, amit jelez a sodorvonal távolságának és a feltöltődés mértékének fordított aránya.

A feltöltődés üteme a vizsgált tényezők közül a sodorvonal helyzetével mutat szoros kapcsolatot: minél közelebb van a sodorvonal a parthoz, a part menti felhalmozódás annál kisebb ütemű, mivel árvizek idején erózió is felléphet (Sándor és Kiss, 2006). A folyóhátak kora és a hordalék-felhalmozódás üteme azt mutatja, hogy gyorsul a hordalék lerakódása, hiszen míg a legidősebb folyóhátak fejlődési üteme csupán átlagosan 10-27 mm/év, addig a legfiatalabbaké már 67-122 mm/év. Az Alsó-Tisza mentén, Mindszent térségében végzett kutatások is megerősítik ezt a tendenciát (Sándor 2011), ugyanis az 1960-as évek előtt a hordalék-felhalmozódás üteme 20 mm/év volt, azt követően pedig már 46 mm/év, tehát a feltöltődés üteme megduplázódott. A felhalmozódás ütemének gyorsulása a hidrológiai viszonyok megváltozásával (pl. eséscsökkenés, árvizek magasságának növekedése; Kiss 2014), illetve a felszíni érdesség megnövekedésével magyarázható, de ezek pontos hatása a folyóhátak méretére és fejlődésük ütemére további kutatásokat igényel.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az OTKA 119193 sz. pályázata támogatta. Az adatokért köszönet illeti az ATIKÖVIZIG munkatársait.

IRODALOM

- Borsy Z. (1993). Általános természetföldrajz. Egyetemi tankönyv. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- Brierley, G., Ferguson, R., Woolfe, K. (1997). What is a fluvial levee? *Sedimentary Geology*. 114, 1-9.
- Brinkle, W.B.M., Schoor, M.M., Sorber, A.M., Berendsen, H.J.A. (1998). Overbank sand deposition in relation to transport volumes during large-magnitude floods in the Dutch sand-bed Rhine River system. *Earth Surface Processes and Landforms*. 23, 809,824
- Cazanacli, D., Smith, N. (1998). A study of morphology and texture of natural levees – Cumberland Marshes, Saskatchewan, Canada. *Geomorphology*. 25, 43-55.
- Gábris Gy. (2003). Övzátóny vagy parti hát? *Földrajzi Közlemények*. 51 (1-4), 178-184.
- Gábris Gy. (2016). A Körös-medence folyóvízi formavilága. *Acta Climatologica et Chronologica*, 50(B), 47-53.
- Hudson, P., Heitmuller, F. (2003). Local- and watershed-scale controls on the spatial variability of natural levee deposits in a large fine-grained floodplain: Lower Pánuco Basin, Mexico. *Geomorphology*. 56, 255-269.
- Iványi B. (1948). A Tisza kisvízi szabályozása. *Vízügyi Közlemények*. 30 (2), 131-159.
- Kiss T. (2014). Fluviális folyamatok antropogén hatásra megváltozó dinamikája: egyensúly és érzékenység vizsgálata folyóvízi környezetben. Akadémiai doktori értekezés, Szeged, pp. 56-57.

Kiss T., Sipos Gy., Fiala K. (2002). Recens üledékfelhalmozódás sebességének vizsgálata az Alsó-Tiszán. *Vízügyi Közlemények*. 84 (3), 456-472.

Klasz, G., Reckendorfer, W., Gabriel, H., Baumgartner, C., Schmalfuss, R., Gutknecht, D. (2014). Natural levee formation along a large and regulated river: The Danube in the National Park Donau-Auen, Austria. *Geomorphology*. 215, 20-33.

Lacza I. (1982). A folyószabályozás tervezésének morfológiai alapjai. *Vízügyi Közlemények*. 64 (2), 235-255.

Lóczy D., Veress M. (2005). Geomorfológia I. Földfelszíni folyamatok és formák. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs. pp. 93-94.

Nagy I., Schweitzer F., Alföldi L. (2001). A hullámtéri hordalék lerakódás (övezet). *Vízügyi Közlemények*. 83 (4), 539-564.

Sándor A., Kiss T. (2006). A hullámtéri üledék-felhalmozódás mértékének vizsgálata a Közép- és az Alsó-Tiszán. *Hidrológiai Közöny*. 86 (2), 58-62.

Sándor A., Kiss T. (2007). A 2006. tavaszi árvíz okozta feltöltődés mértéke és az azt befolyásoló tényezők vizsgálata a Közép-Tiszán, Szolnoknál. *Hidrológiai Közöny*. 87 (4), 19-24.

Sándor A. (2011). A hullámtér-feltöltődés folyamatának vizsgálata a Tisza középső és alsó szakaszán. Doktori értekezés, Szegedi Tudományegyetem

Schweitzer F., Nagy I., Alföldi L. (2002). Jelenkor övezet (parti gát) képződés és hullámtéri lerakódás a Közép-Tisza térségében. *Földrajzi Értesítő*. 51 (3-4), 257-278.

Smith, N., Pérez-Arllucea, M. (2008). Natural levee deposition during the 2005 flood on the Saskatchewan River. *Geomorphology*. 101, 583-594.

Szlávik L. (2001). A Tisza-völgy árvízvédelme és fejlesztése. *Magyar Földrajzi Konferencia*, Szeged CD-kiadvány, pp. 16.

A Tisza helyszínrajza. A Tisza hajdan és most (1902). M. kir. földművelésügyi miniszter kiadványa. Hadtörténeti Intézet és Múzeum, B IX b 225.

Uddin, M., Rahman, M. (2012). Flow and erosion at a bend in the braided Jamuna River. *International Journal of Sediment Research*. 27 (4), 498-509.

A SZERZŐK



NAGY JUDIT az SZTE Földtudományok Doktori Iskola PhD-hallgatója. 2014-ben földrajz BSc szakon végzett, majd 2016-ban okleveles geográfus diplomát szerzett a Szegedi Tudományegyetemen. Kutatási témája a folyóvízi felszínformálás, azon belül is az Alsó-Tisza menti hullámtér feltöltődésének és befolyásoló tényezőinek vizsgálata.

KISS TÍMEA egyetemi docens az SZTE-TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszékén. 1994-ben biológia-földrajz szakos tanárként végzett a Debreceni Egyetemen. A PhD fokozatot 2001-ben, a DSc fokozatot 2015-ben szerezte meg. Főbb kutatási területei az antropogén geomorfológia, folyóvízi folyamatok vizsgálata, futóhomok területek felszínfejlődése, pollenanalízis és dendrológia geomorfológiai kutatásokban való alkalmazása. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja 2001 óta.

FIALA KÁROLY osztályvezető helyettes, az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, Vízgazdálkodási és Vízirajzi Monitoring Osztály munkatársa. 2004-ben okleveles geográfus diplomát szerzett a Szegedi Tudományegyetemen. Feladat körébe elsősorban szakértői vélemények készítése, és fejlesztési tervek kidolgozása tartozik. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja 2006 óta.

Nemlineáris áramlás próbaszivattyúzásokban jelentkező hatásának numerikus vizsgálata

Farkas-Karay Gyöngyi*, Hajnal Géza*, Steffen Birk**, Vasvári Vilmos*

*Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. Magyarország.

(E-mail: karay.gyongyi@epito.bme.hu)

**Institut für Erdwissenschaften, Karl-Franzens-Universität Graz, 8010 Graz Heinrichstrasse 26, Österreich.

Kivonat

Próbaszivattyúzási adatok kiértékelésekor a hagyományosan alkalmazott elméleti görbékkel való eltérést nemlineáris áramlások jelentkezősége is magyarázhatja. Ez a hatás még nem kellően ismert, ezért jelen munkában numerikus szimuláció segítségével elemeztük a nemlineáris felszín alatti áramlások próbaszivattyúzás-adatakra gyakorolt hatását. A Forchheimer-egyenletet felhasználó MODFLOW NLFP szoftver segítségével olyan elméleti vízadókat hoztunk létre, melyben a nemlineáris áramlások kialakulhattak. Ezen vízadók próbaszivattyúzása során előállított leszívás-idősorait Theis- és Jacob-módszerekkel elemeztük, hogy képet kapjunk, milyen paraméterek és termelőktől mért távolság esetén jelentős a nemlineáris áramlás próbaszivattyúzás adatainak gyakorolt hatása. Megállapítottuk, hogy milyen vízadók és hozamok esetén számíthatunk a nemlineáris áramlások megjelenésére, és bemutattuk, hogy több kút vagy hozam együttes vizsgálatával lehet csak ezt a hatást felismerni. A numerikus szimuláció eredményeképpen nyert idősorok tapasztalatait terepi próbaszivattyúzás-adataknál is felhasználtuk. A rosszul illeszkedő Theis-görbe helyett a Jacob-módszerrel, illetve numerikus modellel jól illeszkedő, nemlineáris áramlást is figyelembe vevő elméleti görbékkel határoztuk meg a vízadó paramétereit. Igazoltuk, hogy mind a Jacob-módszer, mind a MODFLOW NLFP használható nemlineáris áramlások elemzésére. Tapasztalataink alapján a nemlineáris áramlás igen jelentősen befolyásolhatja a próbaszivattyúzási adatokat, annak figyelmen kívül hagyása valóságtól eltérő vízadó-paraméterek megállapítására vezethet. Ennek elkerüléséhez kívánunk segítséget nyújtani jelen munkánkban.

Kulcsszavak

Próbaszivattyúzások, nemlineáris áramlás, Forchheimer-egyenlet, MODFLOW NLFP, Aqtesolv, Jacob-módszer.

Numerical analysis of the effect of nonlinear flow on pumping tests

Abstract

During the evaluation of pumping test data many differences between the measured and the theoretical curves can occur. One of the feasible explanations is the nonlinear groundwater flow. The effect of the nonlinear flow is not fully described, so this work analyses it with the help of computer-generated and field test data. The MODFLOW NLFP and the Aqtesolv software were used. The NLFP uses the Forchheimer equation to describe nonlinear groundwater flow. With its help theoretical aquifers were generated in which the nonlinearity was allowed and a two-hour-long pumping test was prepared with seven-hour-long recovery measurements. The used aquifer parameters and pumping rates are showed in *Table 1*. The pumping test data of these aquifers was analysed with the Theis and Jacob methods. It is clear that the nonlinearity causes significant differences from the linear cases especially in the pumping well and in an observation well situated 1 m from the pumping well (*Fig. 2*). With the Theis method a very good fitting was reachable on the influenced drawdown curves, but it did not reproduce the input parameters: there were orders of magnitude differences in the storativity (*Fig. 3 and Table 2*). Only the jointed analysis – the pumping well and an observation well or many observation wells or different pumping rates – is suitable to detect the effect of nonlinearity (*Fig 4, 6, 7*). The bad fitting points to an unknown effect which is not taken into account in the theory of the traditional evaluation methods – in these cases it was the nonlinearity. It was showed that the nonlinear flow can occur with high pumping rate, in thin aquifers with high ratio of Forchheimer-parameters (*Eq. 13*). According to the technical literature, high ratio of the Forchheimer-parameters can be expected in fractured and karstified rocks and in gravels. The *Eq. 15* describes the area affected by nonlinear flow. When nonlinearity was taken into account with the use of the Jacob method, the modelled aquifer parameters were retrieved. This method cannot be used to detect nonlinearity in one well with constant pumping rate but with the above mentioned jointed analysis the real aquifer parameters can be determined. The field test data was analysed by the Theis and Jacob method and also with an automatically calibrated MODFLOW NLFP model. The very bad fitting of the Theis-curve to the data showed that the method did not take into account an important hydraulic effect. By the Jacob method and MODFLOW NLFP better curve fittings were reachable, and the parameters obtained by the two methods were similar (*Fig. 8, 9*). Both the Jacob method – in which nonlinear well-losses are included – and the MODFLOW NLFP with automatic and manual calibration are applicable to the analysis of nonlinear flow in formation. Jacob- and Forchheimer-parameters can be compared with the *Eq. 4*.

Keywords

Pumping tests, nonlinear flow, Forchheimer-equation, MODFLOW NLFP, Aqtesolv, Jacob method.

BEVEZETÉS

Próbaszivattyúzások kiértékelése során sokszor tapasztalható jelenség, hogy a mért és az elmélet által meghatározott leszívás-visszatöltődési görbék eltérnek egymástól. Egyes eltérésekre magyarázatot adhat az elméletek által végtelen kiterjedésűnek tekintett vízadó réteg véges volta, a drén vagy a vízutánpótlás közelsége, a kútátmérő véges

volta stb., de a gyakorlati életben folyamatosan merülnek fel újabb és újabb magyarázatra váró eltérések. Példaképpen említhető, mikor a leszívás és visszatöltődés adataira más paraméterekkel rendelkező vízadó elméleti görbéje illeszthető (*Spitzberg és Ufrecht 2014*), vagy a leszívás mért adatai egy idő után felülmúlják a korábban jól illeszkedő elméleti görbe által megadott értékeket (*Karay és társai*

2016). Lehetséges magyarázatként merül fel, különösen nagy szivattyúzott hozamoknál, illetve karsztos és repedezett vízadók esetén a kúthoz való áramlás nemlineárisává válása. Az átmeneti és turbulens áramlások jelentkezése megsérti a legtöbb kiértékelésre használt módszer alapfeltevését, a kúthoz történő lamináris áramlás feltételezését. Bár egyes járatos eljárások, például Jacob módszere lépcsőzetesen növelt szivattyúzási hozamokhoz tartozó adatok kiértékelésére (Jacob 1947), figyelembe vesznek nemlineáris veszteségeket, a nemlineáris áramlás próbaszivattyúzásokra gyakorolt hatása javarészt feltáratlan. Kutatásaink során ezt az összefüggést igyekeztünk feltárni, majd javaslatokat adni a nemlineáris áramlás hatásainak szűrésére és helyes kezelésére.

A NEMLINEÁRIS FELSZÍN ALATTI VÍZÁRAMLÁSOK ELMÉLETE ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREI

Elméleti háttér

A felszín alatti vízáramlások jellemzésére általánosan használt Darcy-egyenlet lineáris kapcsolatot feltételez a hidraulikus gradiens és a kialakuló látszólagos sebesség (fajlagos vízhozam) között (Öllös 1970). Ez a feltételezés mindaddig igaz, amíg az áramlási sebességek kellően kicsinyek, vagyis a vízáramlás lamináris, ám a pórusméretek és az áramlási sebesség növekedésével a nemlineáris hatások áramlásra gyakorolt szerepe jelentőssé válhat. Repedezett és karsztos kőzetekben, ahol az intakt kőzet sokszor egyáltalán nem, vagy csak igen kis mértékben képes a folyadék vezetésére, a repedések és járatok veszik át a vízszállítás feladatát, amelyek keresztmetszeti méretei a pár milliméterestől több méterig terjedhetnek, így jó eséllyel alakul ki bennük nemlineáris áramlás. Darcy-törvényének nemlineáris áramlásokra való lehetséges kiterjesztését adta meg Forchheimer 1901-es munkájában (Forchheimer 1901), ahol az eredetileg lineáris egyenletet egy kvadrátikus taggal bővítette:

$$av + bv^2 = I \quad (1)$$

ahol v a látszólagos áramlási sebesség [m/s], a és b a Forchheimer-paraméterek [s/m] és [s²/m²], I a hidraulikus nyomásesés [-]. A Darcy-törvénnyel való ekvivalencia érdekében a paramétert általában a szivárgási együttható reciprokaként szokták megadni (k , [m/s]):

$$a = \frac{1}{k} \quad (2)$$

Kis áramlási sebességek esetén a kvadrátikus tag hatása elenyészővé válik, és visszakapjuk a Darcy-egyenletet (Horváth 1974).

Az a és b paraméterek meghatározására Forchheimer óta számtalan kísérletet tettek, mind elméleti, mind kísérleti úton, például: Ward (1964), Ahmed és Sunada (1969), Kovács (1972), Venkataraman és Rao (1998). Az elméleti és kísérleti eredményeket Sidiropoulou és társai (2007) foglalták össze a teljesség igényével, ezt felhasználva a gyakorlati számításokhoz szükséges paraméterek közelítő értékei meghatározhatók.

A próbaszivattyúzások kiértékelésénél járatos módszerek általában nem veszik figyelembe a nemlineáris áramlás

eredményekre gyakorolt hatását. Kivételt jelent a Jacob-féle kiértékelési módszer, melyet eredetileg lépcsőzetesen növelt szivattyúzási hozamokhoz tartozó adatok kiértékelésére dolgoztak ki (Jacob 1947). Az eljárás alapösszefüggése a következőképpen írható fel:

$$s_k = AQ + BQ^2 \quad (3)$$

ahol s_k a termelőkút leszívása [m], Q a szivattyúzott vízhozam [m³/s], A [s/m²] a vízadó lineáris- és B [s²/m⁵] a kút nemlineáris vesztesége. Mathias és Todman a Forchheimer-egyenlet és a lépcsőzetes próbaszivattyúzások közötti kapcsolatot vizsgálva az alábbi összefüggést írták le b Forchheimer-paraméter és B nemlineáris kútvesztesség között (Mathias, Todman 2010):

$$B = \frac{b}{(2\pi H)^2 r_k} \quad (4)$$

ahol H a vízadó vastagsága [m] és r_k a kútsugár [m].

Alkalmazott módszerek

A próbaszivattyúzásoknál jelentkező nemlineáris áramlás vizsgálatára a MODFLOW (McDonald és Harbaugh 1984) és AQTESOLV (Duffield 2007) szoftvereket alkalmaztuk.

A MODFLOW nyílt forráskódú, felszín alatti áramlások véges differenciák elvén alapuló numerikus modellező szoftver NLFP csomagjával lehetőség nyílik a nemlineáris áramlások numerikus modellben való figyelembevételére (Mayaud és társai 2014). A programcsomag a Forchheimer-egyenlet alapján az áramlási sebesség függvényében számítja a hidraulikus vezetőképességet, mely egy, a szivárgási együtthatóból származtatott paraméter, amit a MODFLOW a számításai során felhasznál. Lineáris esetben, egy irányban a következőképpen számítható:

$$C_{lin} = \frac{kA}{\Delta l} \quad (5)$$

ahol C_{lin} a hidraulikus vezetőképesség [m²/s], A a keresztmetszeti terület [m²] és l a távolság [m] két modellesomópont (node) között. A nemlineáris- vagy Forchheimer-vezetőképességet (C_F) a következőképpen számíthatjuk:

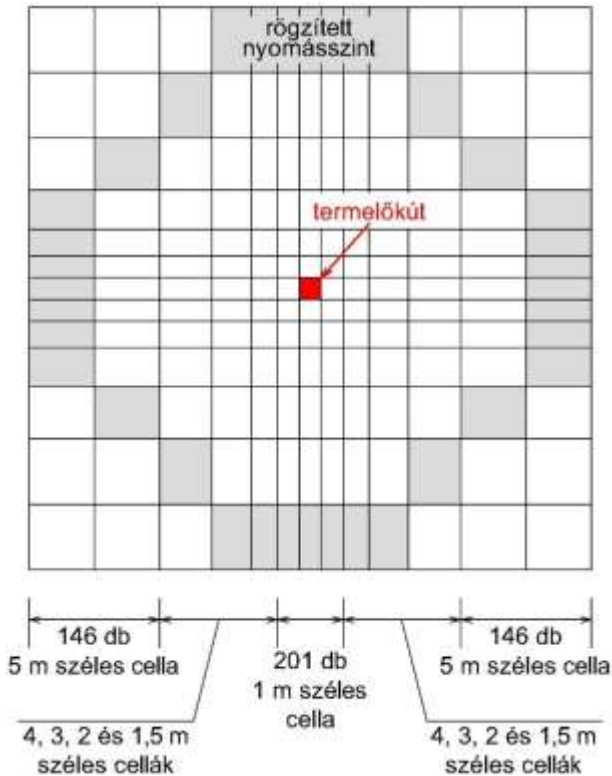
$$C_F = \frac{C_{lin}}{1 + v \frac{b}{a}} \quad (6)$$

A (6) egyenlet felhasználásával a MODFLOW NLFP iterációval határozza meg az áramlási sebességet és a nemlineáris hidraulikus vezetőképességet. A hagyományos MODFLOW modellezésen túl az NLFP-ben a b/a paraméter definiálása szükséges [s/m].

Az Aqtesolv egy analitikus kiértékelő szoftver, mely a próbaszivattyúzások kiértékelésére levezetett analitikus módszerekkel meghatározható görbéket illeszti a mért adatokra. A szoftver a legkisebb négyzetek módszerével közelíti a mért adatokat oly módon, hogy a vízadó paramétereit változtatja.

Kutatásunk során numerikusan generált és valóságosan mért adatsorokat elemeztünk a nemlineáris áramlás hatásának feltárása céljából. Ehhez létrehoztunk egy, a vizsgálataink szempontjából végtelen kiterjedésűnek tekinthető véges differencia cellákból felépített négyzet alakú

1682x1682 m-es vízadót, melyet próbálgatás útján határozunk meg. A szivattyúzott kút a középső 1x1 m-es cellában helyezkedik el, ezt minden irányból 100 db 1x1 m-es cella határolja, majd megfelelő átmenettel a cellaméret 5x5 m-esre növekszik. A kút körül 838,5 m-es sugárban lévő cellacsomópontokon állandó nyomásszintet feltételeztünk. A modellelrendezés vázlatát az 1. ábra mutatja be.



1. ábra. A véges differencia modell vázlatos rajza

Figure 1. Schematic visualisation of the finite difference model

Próbaszivattyúzás-adatsorok generálása

A véges differencia modellterület megalkotásával párhuzamosan kijelöltük azokat a modellparamétereket – a transzmisszivitást, a tárolási tényezőt, a szivattyúzott hozamokat és a Forchheimer-paraméterek hányadosát – melyek a mérési és elméleti tapasztalatok alapján reálisak lehetnek. A b/a paraméter lehetséges tartományát *Sidiropoulou és társai (2007)* eredményeinek segítségével határoztuk meg. Az általuk összegyűjtött mérési és szakirodalmi adatok mesterséges szemcsékre, homokra, kavicsra és kristályos kőzetre tartalmaznak értékeket. Ez alapján a homokoknál b/a 1-100 s/m tartományban lehet, a kavicsoknál is ez a jellemző, de ott előfordulhat ennél nagyobb Forchheimer-paraméter hányados is. A kristályos kőzeteknél az adatok négy nagyságrendet öleltek át, ami a repedések struktúrájának változatosságával magyarázható. Feltehető, hogy ugyanilyen széles skálán mozoghatnak a karsztos kőzetek Forchheimer-paraméter hányadosai is. Az alkalmazott modellparaméter-tartományokat az 1. táblázat tartalmazza, a modellezés során ezek kombinációival állítottuk elő az ideális vízadókat.

A nempermanens modellezésben két óra időtartamú volt a szivattyúzás, majd hét órán át zajlott a visszatöltődés megfigyelése. A MODFLOW NLFP futtatása után a termelőkútban mért leszívási és visszatöltődési adatsorokat,

valamint a termelőtől 1, 10 és 100 m-es távolságban lévő kutak megfigyeléseit elemeztük az Aqtesolv segítségével. A b/a paramétert nullára választva a leszívás-visszatöltődés idősora tökéletesen illeszkedett a Theis-módszerrel a bemenő paraméterekből meghatározott elméleti görbére, így a nemlineáris áramlás eredményekre gyakorolt hatását első sorban szintén a Theis-féle elméleti görbékhez hasonlítottuk.

1. táblázat. A MODFLOW modellben alkalmazott paraméterek
Table 1. Model parameters used in MODFLOW

Modellparaméter	T [m ² /s]	S [-]	Q [m ³ /s]	b/a [s/m]
Alsó határ	10^{-10}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-1}
Felső határ	10	10^{-2}	10^{-1}	10^4

Az adatokat az Aqtesolv-ban a Jacob-módszerrel is kiértékeljük. Fontos megjegyezni, hogy ez a módszer csak a termelőkútnál vesz figyelembe nemlineáris hatásokat, melyek eredetileg a kúthoz kötődnek, és nem a vízadóhoz, mint ahogy a Forchheimer-egyenletben. Az összefüggés esetlegességét szem előtt tartva olyan próbaszivattyúzási adatokra is használtuk a Jacob-módszert, melyeknél a vízhozam konstans volt. A (4) egyenlet átrendezése segítségével a modellezés során megadott paraméterekből (b/a , illetve T transzmisszivitás [m²/s]) közvetlenül számíthatóvá válik a B értéke, melyet a Jacob-módszerrel kapott B értékétől való megkülönböztetés érdekében az NLFP indexszel láttunk el (7. egyenlet). A közvetlenül a Jacob-módszer felhasználásával kapott B_{Jacob} és a modellezési adatokból számított B_{NLFP} így összehasonlíthatóvá válik.

$$B_{NLFP} = \frac{b}{a} \cdot \frac{1}{4\pi^2 TH r_k} \quad (7)$$

A numerikusan generált adatsorok esetében az r_k értékét a véges differencia cellaméret [m]. Az összefüggés csak négyzet alakú cellák esetén igaz. Megjegyezzük, hogy a (8) egyenlet levezetéséhez szükséges feltételrendszer több ponton is sérül, hiszen a vizsgált áramlás nempermanens és nemlineáris. Ilyen áramlások esetén a véges differencia cellák segítségével számítható egyenértékű kútsugár meghatározásához szabatosabb vizsgálatok is szükségesek lehetnek.

$$r_k = 0,208 \cdot \Delta x \quad (8)$$

ahol Δx a véges differencia cellaméret [m]. Az összefüggés csak négyzet alakú cellák esetén igaz. Megjegyezzük, hogy a (8) egyenlet levezetéséhez szükséges feltételrendszer több ponton is sérül, hiszen a vizsgált áramlás nempermanens és nemlineáris. Ilyen áramlások esetén a véges differencia cellák segítségével számítható egyenértékű kútsugár meghatározásához szabatosabb vizsgálatok is szükségesek lehetnek.

Terepi próbaszivattyúzások

Az elméleti próbaszivattyúzások elemzése és a nemlinearitás hatásainak feltárása után az elméletileg megfogalmazott eredményeket terepi próbaszivattyúzásokon végzett elemzéssel is igazolni akartuk. Egy ausztriai próbaszivattyúzási adatsort használtunk fel, mely a felső-júra korú erősen repedezett mészkő és dolomit összletbe mélyült. A vízadó 224 m vastag és nyomás alatti. A leszívás-visszatöltődési adatsor a termelőkútból származott.

A mérési eredményeket Theis és Jacob-módszerekkel elemeztük az Aqtesolv segítségével, illetve a korábban bemutatott modellhálót felhasználva a PEST (*Doherty 2015*) Parameter Estimation automatikus kalibráló szoftver segítségével meghatároztuk azokat a vízadó-paramétereket,

melyekkel a MODFLOW NLFP-t futtatva a legjobb egyezés érhető el a mért és a modellezett eredmények között. A (7) képlet segítségével összevetettük a Jacob-módszerrel kapott B_{Jacob} , és az automatikus kalibrációval meghatározott b/a értékeket. A különböző módszerekkel kapott transzmisszivitás- és tárolási tényező értékeket és a görbék illeszkedését elemezve képet kaphattunk a nemlinearitás jelentkezéséről.

EREDMÉNYEK

Mesterségesen generált adatsorok

Vizsgált modellváltozatok számának csökkentése

A futtatások során felismertük, hogy a leszívás mértéke a vízhozam és a transzmisszivitás arányától függ. Ennek segítségével kizártuk azokat a modellváltozatokat, ahol a leszívás mértéke meghaladta a modell-vízadó vastagságát (100 m), és azokat is, ahol a leszívás nem érte el az 1 cm-t. Felismertük továbbá, hogy a modellben egy idő után kialakulhat permanens leszívási állapot, és ez az idő a tárolási tényező és a transzmisszivitás hányadosától (hidraulikai diffúzitás) függ. Mivel a Theis-módszer nempermanens állapotot feltételez, a modellesek közül kivettük azokat, ahol a permanens állapot eléréséhez kevesebb, mint 10 másodperc elegendő volt. Tovább csökkentette az elemezhető modellváltozatok számát az a tény, hogy 100 m vastag vízadót feltételezve még a maximális ($0,1 \text{ m}^3/\text{s}$) vízhozam esetén sem tapasztaltunk eltérést a $b/a=0; 0,1; 1; 10 \text{ s/m}$ paraméterű modellek leszívási és visszatöltődési adatsorai között. Ha az (1) egyenletet átrendezzük és behelyettesítjük a (2) egyenletet, ennek oka tisztán láthatóvá válik:

$$I = \frac{1}{k} v \left(1 + \frac{b}{a} v \right) \quad (9)$$

Ha a zárójelben csupán az 1 szerepelne, az egyenlet megegyezne a Darcy-törvénnyel. A zárójelben lévő máso-

dik tagnak az eggyel összemérhető nagyságúnak kell lennie ahhoz, hogy az összefüggés végeredményét érdemben változtatja. Kezdetben feltételeztük, hogy ez az összefüggés teljesül, ha

$$0,01 \leq \frac{b}{a} v \quad (10)$$

Figyelembe véve, hogy véges differencia módszernél a látszólagos áramlási sebesség a Q hozammal jellemzett termelőkútban a kitermelt hozam és a cellaméreték függvényében, négyzet alakú cellát feltételezve a következőképpen számítható:

$$v = \frac{Q}{h \cdot 4\Delta x} \quad (11)$$

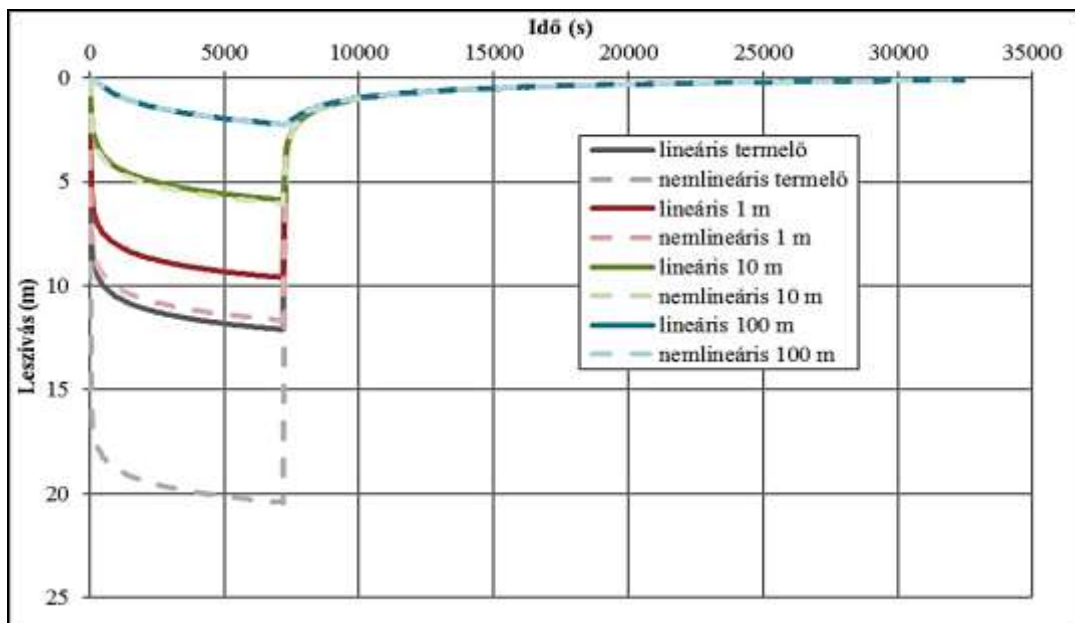
ahol h a cella magassága [m], ami esetünkben a vízadó vastagságával egyezik meg, és behelyettesítve a modellgeometria paramétereit

$$\frac{4}{Q} \leq \frac{b}{a} \quad (12)$$

összefüggésre jutottunk. Ezt figyelembe véve csak olyan modellváltozatokat elemeztünk, ahol b/a értéke legalább száz volt. Továbbá nincs érdemi eltérés a lineáris esettől, ha a fajlagos vízhozam (Q/h) $10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ érték, vagy annál kisebb. A bemutatott eredményekben többnyire $Q=0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ és $b/a=10000 \text{ s/m}$ értékekhez tartozó eredményeket mutatunk be, hogy a lineáris és nemlineáris esetek közötti eltérés maximális legyen.

Nemlinearitás hatása a leszívás-idő adatsorokon

A reprezentatív eredményeket ígérő modellváltozatok kiválogatásával lehetőség nyílt megvizsgálni a nemlineáris hatások jelentkezése által okozott eltéréseket. Azt tapasztaltuk, hogy a termelőkútban és az attól 1 m-re lévő megfigyelőben a leszívások a nemlinearitás hatására jelentősen megnövekedtek, majd a vízkivétel helyétől távolodva ez a hatás elenyészett (2. ábra).



2. ábra. Nemlinearitás hatása a leszívás-visszatöltődés adatsorokra a termelőkútban és az 1, 10, 100 m-re lévő megfigyelőkutakban ($S=0,001$; $T=0,01 \text{ m}^2/\text{s}$; $Q=0,1 \text{ m}^3/\text{s}$; $b/a=10000 \text{ s/m}$)

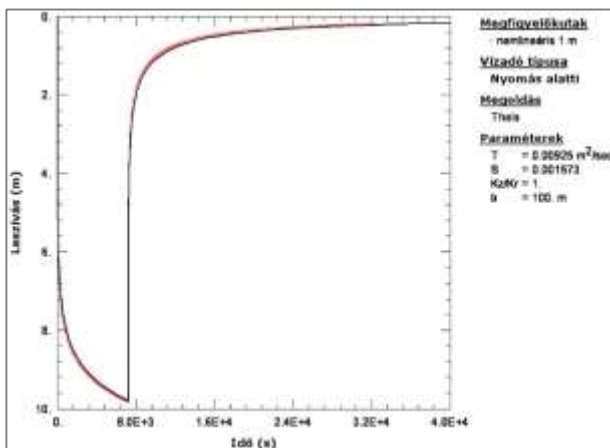
Figure 2. The effect of nonlinearity on drawdown-recovery time-series in pumping well and observation wells

Látható, hogy az eredmények nemlineáris esetben jelentősen eltérnek a lineáris áramlással számoltaktól, különösen a termelőkútban, és az attól 1 m-re lévő megfigyelőkútban. A nemlinearitás hatása a termelőkúttól távolodva elenyészik, a 100 m-es megfigyelőpontban még $b/a=10000$ s/m esetén is 1% alatt maradt az eltérés a lineáris és nemlineáris modelleredmények között. A generált adatsorokra külön-

külön legjobban illeszkedő Theis-görbék paraméterei közül a transzmisszivitás gyakorlatilag megegyezett a bemenő modellértékkel, a tárolási tényezőben azonban nagyságrendi eltérések mutatkoztak ott, ahol a nemlinearitás hatása jelentős volt (3. ábra). Példaképpen bemutatunk egy adatsort, amelyen látható, mely paraméterekkel érhető el a legjobb egyezés a Theis-görbével (2. táblázat).

2. táblázat. A modellezett adatsorra legjobban illeszkedő Theis-görbe paraméterei
Table 2. Parameters of the best-fitting Theis curves

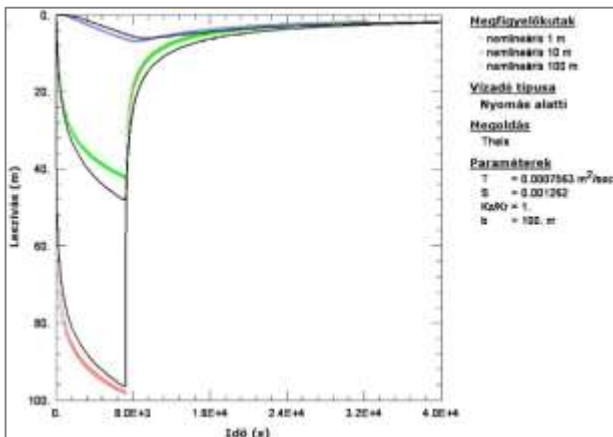
Para- méterek	Modell be- menő para- méterei	Termelő- kút	1 m-es megfigyelő	10 m-es megfigyelő	100 m-es megfigyelő
S [-]	10^{-2}	$1,66 \times 10^{-9}$	$1,67 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,01 \times 10^{-2}$
T [m^2/s]	10^{-2}	$9,20 \times 10^{-3}$	$9,25 \times 10^{-3}$	$9,55 \times 10^{-3}$	$9,88 \times 10^{-3}$



3. ábra. Az elméleti Theis-görbe illeszkedése az 1 m-es megfigyelőkút adataira

($S=0,01$; $T=0,01$ m^2/s ; $Q=0,1$ m^3/s ; $b/a=10000$ s/m)

Figure 3. The fitting of the theoretical Theis-curve on the data of the observation well 1 m far from the pumping well



4. ábra. A legjobban illeszkedő Theis-görbék három megfigyelőkút együttes vizsgálata esetén

($S=0,001$; $T=0,001$ m^2/s ; $Q=0,1$ m^3/s ; $b/a=10000$ s/m)

Figure 4. The best fitting Theis curves in case of simultaneous analysis of three observation wells

A termelőkút adatait a Jacob-módszerrel is megvizsgáltuk. Az Aqtesolv által számított legkisebb négyzetes hibát adó eredmény legtöbb esetben akkor állt elő, amikor a B_{Jacob} nemlineáris veszteség 0 volt. A paraméterek módosításával hasonlóan pontos eredményt sikerült előállítanunk tetszőleges számú B_{Jacob} és S kombinációkra. A

tárolási tényezőt és transzmisszivitást a bemenő modellértéken rögzítve a szoftver nullától eltérő B_{Jacob} értékeket kapott, melyet a modellparaméterekből származtatható B_{NLFP} értékekkel vetettünk össze. A B_{NLFP} minden esetben 1,4-1,6-szorosa volt a Jacob-módszerrel számítható nemlineáris veszteségnek. A megvizsgált összes, csak termelőkútra vonatkozó adatsornál – még más rétegvastagságok esetén is – fennállt ez az állandó arányú különbség a kétféle módon számított B értékek között. Mivel a véges differencia cellákból lineáris áramlásra vonatkozó összefüggéssel számítottuk a kútsugarat, feltehető, hogy ennek a paraméternek a hibája okozza a szabályos eltérést. Ez a paraméter mind a B_{Jacob} , mind a B_{NLFP} meghatározását befolyásolja, feltehetőleg ez okozza, hogy a különféle vizsgálatoknál, melyeket a következőkben fogunk bemutatni, más-más arányú, de egy vizsgálaton belül szabályos eltérés mutatkozik.

Több kút együttes analízise

Az adatsorok egyesével való elemzése azt mutatta, hogy a Theis-módszer használva észrevétlen maradhat a nemlinearitás megléte, és az eredetitől akár több nagyságrenddel eltérő vízadó-paramétereket is eredményezhet. Ugyanígy belátható, hogy a vízadó paramétereinek ismerete nélkül még a Jacob-módszerrel sem tudjuk feltárni a nemlinearitás hatását. Ezért az Aqtesolv segítségével egy modellváltozat összes megfigyeléseit egyszerre elemeztük. Mivel a véges differencia cellákból meghatározható kútméret bizonytalansága csak a termelőkút érinti, ezért a többkutas vizsgálatoknál a három különböző távolságban lévő megfigyelőkút adatait elemeztük együtt. A három kút adatainak együttes elemzése már feltárta, hogy eltérés van a Theis-módszer feltételeitől: semmilyen paraméter esetén nem sikerült megfelelő egyezést elérni az elméleti görbék és a modelleredmények között. Ahogy az a 4. ábrán is látszik, a legkisebb négyzetes hiba úgy érhető el, hogy az elméleti görbe az egyik kút megfigyeléseinek nagyobb, másikonál kisebb értékeket ad. Általánosságban ezek az illesztések elég jónak mondhatók a lesvívások kezdeti szakaszán, és egyes esetekben a 100 m-es megfigyelőkút adatainál. Az illeszkedések azonban összességében elég rossz ahhoz, hogy észrevehetővé váljon a kiértékelő módszer által figyelembe nem vett hatás jelenléte. Az így számított transzmisszivitás 10-30%-kal alacsonyabb, mint a bemenő paraméter, a tárolási tényező 20-50%-kal magasabb. Ezek alapján elmondható, hogy bár a Theis-módszer

nem alkalmas nemlineáris áramlások elemzésére, és az illeszkedés szemmel láthatólag igen gyenge, több megfigyelőkutat együtt elemezve nagyságrendileg jó becslést kaphatunk a vízádó paramétereire. Ebben valószínűleg a hosszú visszatöltődési adatsor is segít, melyet a későbbiekben elemzünk. A Jacob módszer használatakor már megállapítottuk, hogy amennyiben csak a termelőkút adatait elemezzük, a B_{Jacob} értéke a legpontosabb illesztéssel 0, vagyis a Theis-módszer paramétereit kaptuk vissza. Beláttuk azt is, hogy több, egyenként Theis-típusgörbével jól leírható megfigyelőkút együttes vizsgálata jelzi, hogy valamely, a módszer használhatóságát sértő hatás jelentkezett a próbaszivattyúzás során. Ennek ismeretében a termelőkút adatsorát egy-egy megfigyelőkút adataival vizsgáltuk együtt. A $b/a=10000$ s/m esetben a termelőtől 100

m-re lévő megfigyelőkút adatait vettük alapul, mivel itt már a nemlineáris áramlás hatása nem jelentkezik. A legkisebb négyzetek módszerével elvégzett görbeillesztések már pontosabban közelítették meg a bemenő paramétereiket, és a B_{Jacob} értékek nullától eltérőek lettek.

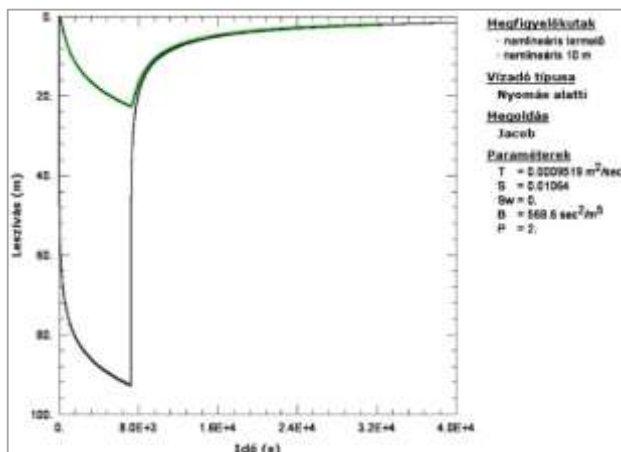
Ezek az értékek rendre alatta maradtak a bemenő paraméterek rögzítésével kapott B_{Jacob} értékeknek. A transzmisszivitás értékek jellemzően csökkentek, a tárolási tényező értékek a bemenő adatnál hol kisebbre, hol nagyobbra adódtak. Ezek az eltérések egyik esetben sem érték el a 30%-ot, így kijelenthető, hogy a termelőkút és a 100 m-es megfigyelőkút együttes analizálásával kapott transzmisszivitás és tárolási tényező értékek már nagyságrendileg helyesek. Példaként bemutatunk egy adatsort, amelyen jól láthatóak az itt leírt eltérések (3. táblázat).

3. táblázat. A Jacob-módszerrel meghatározott paraméterek

Table 3. Parameters calculated by Jacob method

Paraméterek	Modell bemenő paraméterei	Csak termelő Legjobb illeszkedés	Csak termelő Rögzített S és T	Termelőkút és 100 m-es megfigyelő
S [-]	10^{-3}	$1,26 \times 10^{-6}$	10^{-3}	$9,16 \times 10^{-4}$
T [m^2/s]	10^{-3}	$8,23 \times 10^{-4}$	10^{-3}	$7,83 \times 10^{-4}$
B [s^2/m^5]	12 178*	0	8271	5846

* a b/a paraméterből a (7) egyenlet segítségével meghatározva / Calculated from b/a parameter by Equation (7).



5. ábra. Jacob-módszer eredményei a termelőkút és a 10 m-es megfigyelőkút adataiból ($S=0,01$; $T=0,001$ m^2/s ; $Q=0,1$ m^3/s ; $b/a=1000$ s/m)

Figure 5. Results of the Jacob method from data of the pumping well and the observation well 10 m far from the pumping well

A $b/a=1000$ s/m esetben már a 10 m-es megfigyelőkútban is 1% alatt marad az eltérés a lineáris és nemlineáris leszívás-értékek között, így a korábban bemutatott módon együtt elemeztük a termelőkút és a 10 m-es megfigyelőkút adatsorát (5. ábra). Ez esetben a legjobb illesztéssel kapott transzmisszivitások maximum 5%-kal kisebbek lettek a bemenő adatoknál, a tárolási tényezők kicsit nőttek, az eredeti értékektől való eltérés 20% alatt maradt. A B_{Jacob} értékek a B_{NLFP} értékek körülbelül felére adódtak. A görbeillesztés által kapott eredmények pontosságában tapasztalt javulást okozhatja, hogy a kisebb b/a miatt kisebb az eltérés a lineáris esettől.

A 2. és 4. ábrán látható, hogy a visszatöltődés alatt a különböző távolságokban lévő kutakban linearitástól függetlenül elég rövid idő alatt közel egyenlővé válnak a leszívások. Erre a megfigyelésre alapozva külön elemeztük a visszatöltődéseket Theis-módszerével, és azt kaptuk,

hogy a visszatöltődés adatsorokat nem befolyásolja a nemlineáris áramlás megengedése a modellben. Ezt a vizsgálatot kutanként és egy változat összes kútjára is elvégeztük, az adatpontok minden esetben jól illeszkedtek a modellparaméterként megadott transzmisszivitás által meghatározott egyenesre (6. ábra). Jól látható az is, hogy a nemlineáris áramlás figyelembe vételével számított leszívások még a visszatöltődés alatt is kicsit nagyobbak, mint a lineáris esetben, de ez az időben haladva egyre inkább eliminálódik.

A mesterségesen generált adatsorok tanulságai

Az itt bemutatott elemzés után képet kaptunk arról, hogy mikor várható a nemlineáris áramlás hatásainak jelentkezése próbaszivattyúzások adatsorain. Jelentős hatása lehet a nemlineáris áramlásnak nagy szivattyúzott hozam, magas b/a hányados vagy vékony vízádó réteg esetén. Ez az „elegendően nagy” nehezen számszerűsíthető, de ökol-szabályként elmondható, hogy a fajlagos hozam körülbelül a Forchheimer-paraméterek hányadosának reciproka kell legyen ahhoz, hogy a nemlinearitás hatása jelentkezzen.

$$\frac{h}{Q} \leq \frac{b}{a} \quad (13)$$

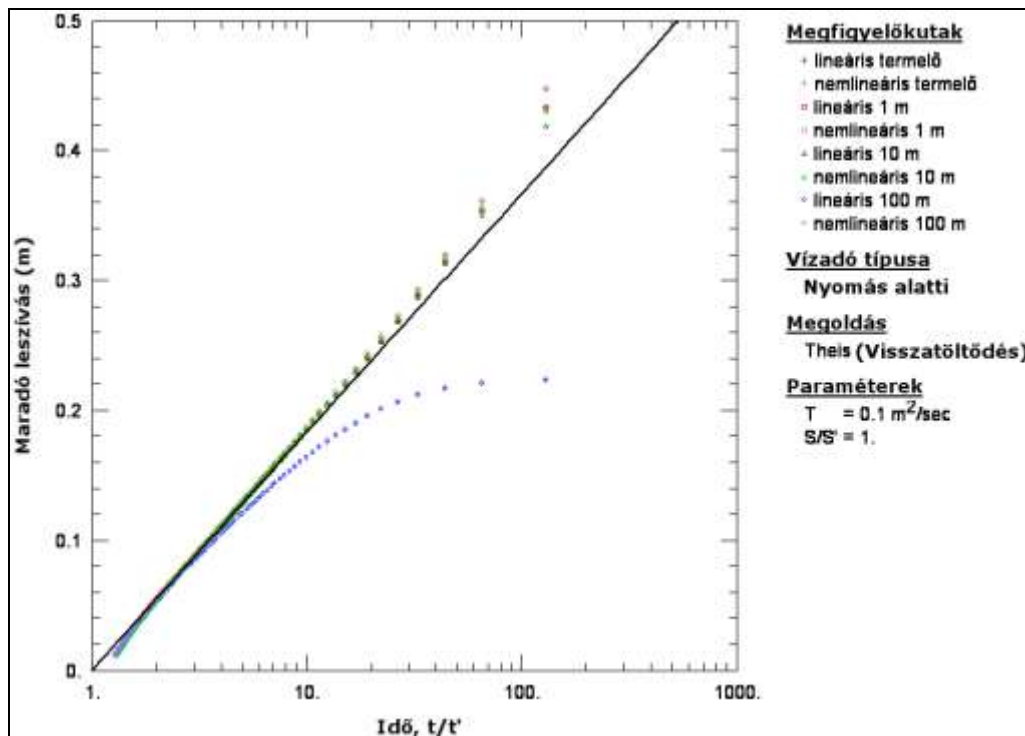
A modelleredmények alapján a (10) egyenletet a következőképpen módosítottuk:

$$0,04 \leq \frac{b}{a} v \quad (14)$$

Ekkor a nemlineáris áramlás esetén kialakuló leszívás értékei legalább 1%-kal nagyobbak lesznek, mint lineáris esetben. A sebességet hengersizmetrikus áramlásokra számolva a távolhatás a következő összefüggéssel adható meg:

$$R = \frac{b}{a} \frac{Q}{0,08\pi H} \quad (15)$$

ahol R a kút középpontjától mért maximális sugárirányú távolság, ahol a nemlineáris áramlás hatása még érezhető.

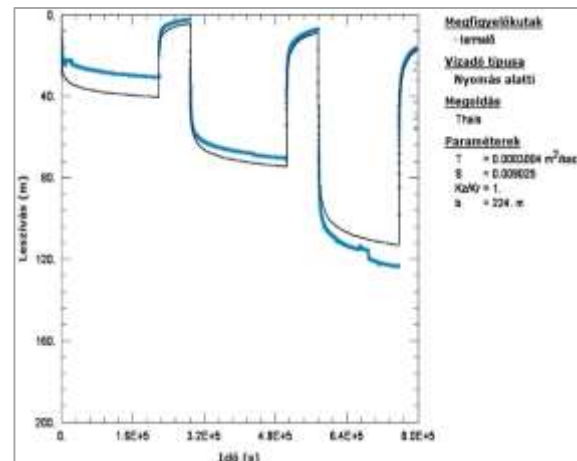


6. ábra. Visszatöltődés vizsgálata Aqtesolv-val ($S=0,01$; $T=0,1 \text{ m}^2/\text{s}$; $Q=0,1 \text{ m}^3/\text{s}$; $b/a=10000 \text{ s/m}$)
Figure 6. Analysis of the recovery by Aqtesolv

Terepi próbaszivattyúzási eredmények analízise

A rendelkezésre álló idősor egy olyan próbaszivattyúzáshoz tartozik, melyben a három, egyre növekvő hozamú leszívási periódus között körülbelül húszpercnyi visszatöltődési szakaszokat hagytak. Először vizsgáltuk a teljes idősort egy diagramon, majd a három lépcsőt, mint különálló próbaszivattyúzásokat is elemeztük, külön véve a leszívási és visszatöltődési adatokat. Itt jegyeznénk meg, hogy a harmadik leszívási lépcsőben több, a szabályos leszívási görbétől eltérő kiugrás van mind pozitív, mind negatív irányban. Ennek oka a leszívási hozam kismértékű ingadozása. Az Aqtesolvban és a numerikus modellezésnél a számítási idő csökkentése érdekében csak akkor vettük figyelembe az ingadozásokat, ha azok hirtelen és tartósan 10%-nál nagyobb eltérést mutatnak a korábbi adatoktól. A mért görbe kis mértékű, rövid időtartamú eltéréseit okozó kisebb hozamfluktuációk így eltűntek a hosszú időre számolt átlagban.

A Theis-módszerrel a különböző görbeszakaszokra nagyon jól illeszkedő görbék adódtak. Itt is, akárcsak a numerikusan generált adatsoroknál, az adatsorok együttes analízise mutatott rá, hogy a terepi kísérlet során valami olyan jelenség is befolyásolta a leszívást, melyet a kiértékelő nem vesz figyelembe (7. ábra). A legkisebb négyzetes hibát adó megoldás a leszívási szakaszokon markánsan eltér a mért adatoktól.



7. ábra. Terepi adatokra illesztett Theis-görbe
Figure 7. Theis-curve fitted on field data

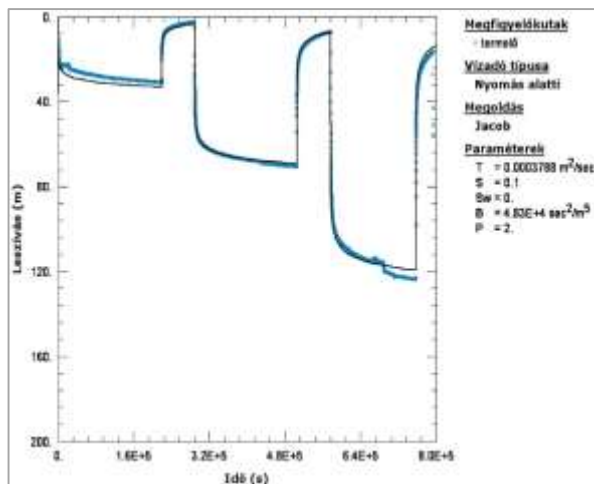
A Theis-módszerrel kapott eredményeket a 4. táblázatban mutatjuk be. Jól látható, hogy a transzmisszivitás értékek a különböző modellesekben elég közel vannak egymáshoz, átlaguk $3,25 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, a szórás 12% alatti. A tárolási tényező értékében azonban megfigyelhető a numerikus adatsorok feldolgozásánál már korábban is tapasztalt eltérés: a különböző hozamú szakaszokhoz nagyságrendileg eltérő tárolási tényezők adódtak. Ez a hasonlóság alapot adhat nemlineáris áramlás feltételezésére.

4. táblázat. Terepi adatok elemzése Theis-módszerrel
Table 4. Field data analysis by the Theis method

Paraméterek	Egész egyben	1. leszívás	1. visszatölt.	2. leszívás	2. visszatölt.	3. leszívás	3. visszatölt.
$Q \text{ [m}^3/\text{s]}$		$1,10 \times 10^{-2}$		$1,98 \times 10^{-2}$		$3,00 \times 10^{-2}$	
$S \text{ [-]} / S/S' \text{ [-]}^*$	$9,03 \times 10^{-3}$	$9,46 \times 10^{-3}$	1,46	$1,19 \times 10^{-3}$	1,00	$1,28 \times 10^{-3}$	1,00
$T \text{ [m}^2/\text{s]}$	$3,00 \times 10^{-4}$	$3,35 \times 10^{-4}$	$3,79 \times 10^{-4}$	$3,61 \times 10^{-4}$	$3,15 \times 10^{-4}$	$3,06 \times 10^{-4}$	$2,71 \times 10^{-4}$
Illeszkedés	Nem jó	Jó	Jó	Nagyon jó	Nagyon jó	Jó	Nagyon jó

* Az S paramétert határoztuk meg az Aqtesolv segítségével a teljes adatsor vizsgálatakor, valamint a leszívási adatsoroknál, és az S/S' paramétert, vagyis a leszíváskori és visszatöltődéskori tárolási tényező arányát a visszatöltődési adatsoroknál.

A Jacob-módszerrel – ahogy az várható is volt – a leszívás-adatok, illetve az egyes hozamokhoz tartozó leszívás-visszatöltődés adatok külön-külön elemzése esetén B_{Jacob} nulla lett. A három esemény együttes elemzésekor a legkisebb négyzetes hiba akkor adódott, amikor a tárolási tényező értéke elérte a meghatározott felső határ értékét (0,01). A program által maximálisan engedélyezett $S=1$ értéknél ez a hiba tovább csökkent, ám a valóságban ez az érték nem fordulhat elő. Így 0,1-ben határoztuk meg a tárolási tényező értékét, ez kissé gyengébb illeszkedést eredményezett, mint az $S=1$ értéke, ám realisabb. Az elméleti görbe illeszkedése lényegesen javult (8. ábra). A vízáadó transzmisszivitása $3,79 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, ez jól egyezik a Theis-adatokból kapottal, a $B_{Jacob}=48303 \text{ s}^2/\text{m}^5$. Ebből kiszámítható a $b/a=19589 \text{ s/m}$, amely jóval nagyobb, mint azt a szakirodalmi eredmények alapján várható érték. Ez nem feltétlenül a számítás hibáját jelzi, hiszen a Forchheimer-paraméterek meghatározása nem rendelkezik akkora múlttal, mint a hagyományos vízáadó-paramétereké, így a fellelhető értékek inkább iránymutatásként, semmint szigorú határokként foghatóak fel.

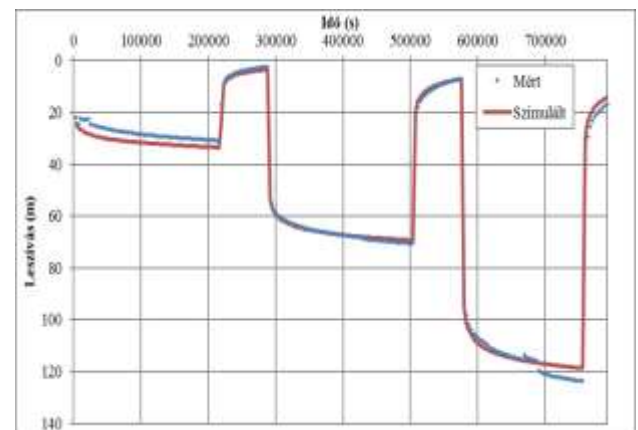


8. ábra. Terepi adatokra illesztett görbe Jacob-módszerrel
Figure 8. Curve fitting on field data by the Jacob method

Ezt követően a már kialakított 501x501-es MODFLOW rácshálót a kútátmérőnek és a rétegvastagságnak megfelelően módosítottuk, és a PEST automatikus kalibráló szoftver segítségével meghatároztuk azokat a vízáadó paramétereket, melyeknél a kiválasztott 220 darab adatra a lehető legkisebb hiba adódott. A leszívási adatok számának csökkentése az Aqtesolv-nál nem volt szükséges, a MODFLOW-PEST programok együttes használatánál azonban lényegesen megrövidítette a futásidőt, és a pontok körültekintő kiválasztásával a pontosság csökkenése is kontrollálható volt.

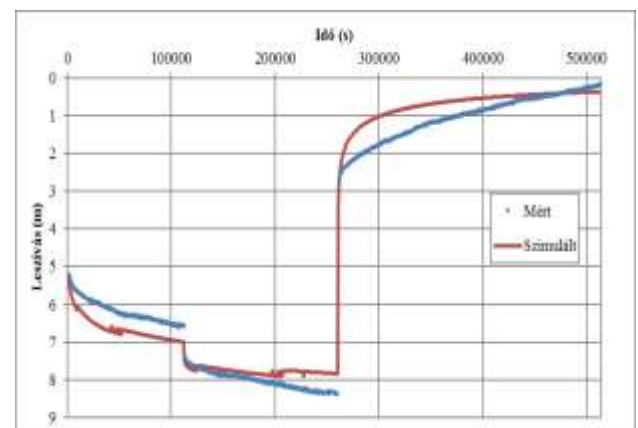
A tárolási tényező értéke itt is igen magas lett ($S=5,61 \times 10^{-2}$), bár a többször elvégzett modellfuttatások alatt csak egyszer közelítette meg a 0,1-nek illetve 1-nek megadott felső határt, vagyis összességében a tárolási tényező alacsonyabb maradt a Jacob-módszerben meghatározottnál. A transzmisszivitás értékek kissé magasabbak lettek ($T=4,14 \text{ m}^2/\text{s}$), a B_{NLFP} értéke $56657 \text{ s}^2/\text{m}^5$, ami kissé magasabb, mint amit az Aqtesolv-val számítottunk, de az eltérés 20% alatti, nagyságrendileg mindenképpen helytálló. Ahogy az a 9. ábrán is látható, az illeszkedés az első

leszívást leszámítva igen jó, ebben is hasonlóság mutatkozik a Jacob-módszer eredményeivel (8. ábra).



9. ábra. Terepi adatokra illesztett görbe MODFLOW-NLFP-vel
Figure 9. Curve fitting on field data with MODFLOW-NLFP

A modellezés során felmerült, hogy vajon nem lehetséges-e, hogy a nemlinearitás figyelembevétele mindenféle próbaszivattyúzási adatsorra, az elmélettől való eltérés okától függetlenül, jobban illeszthető görbét eredményez. Amennyiben ez igaz lenne, úgy az adatsorokból nem lehetne egyértelműen megmondani a nemlineáris áramlás jellegét. Egy szintén termelőnkutas, több hozammal végzett próbaszivattyúzás adatsoránál, ahol jelentős eltérés volt a mért és a Theis-görbe által meghatározható görbék között, a módosított 501x501-es rácshálóra elvégzett MODFLOW-PEST szimuláció a Theis-görbével megegyező eredményeket adott (10. ábra). Noha az ábrán látható, hozamnövelés okozta lépcsőre való illeszkedést tapasztalataink alapján a nemlinearitás megengedése általában javítja, ez esetben nem történt javulás ($b/a=94 \text{ s/m}$ lett, ami nem befolyásolja jelentősen a kapott adatsort). Ez alapján elmondható, hogy a nemlineáris áramlás figyelembevétele nem javít minden eltérésen, így reménykedhetünk benne, hogy csak olyankor jelentkeznek a numerikus kalibráció során nagy b/a hányados, amikor nemlineáris áramlás valóban megjelenik.



10. ábra. Gyengén illeszkedő modellezett eredmények a nemlinearitás figyelembevételével
Figure 10. Modeling results considering nonlinearity showing weak fitting on field data

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen munkában a nemlineáris áramlások próbaszivattyúzásokra gyakorolt hatását vizsgáltuk. A Forchheimer-

egyenleten alapuló MODFLOW NLFP programmal létrehoztunk olyan elméleti próbaszivattyúzási modelleket, melyekben kialakulhatott nemlineáris áramlás. A kapott leszívás-idősorokat az Aqtesolv szoftver segítségével, Theis- és Jacob-módszerekkel elemeztük. A tapasztalatokat felhasználva terepi próbaszivattyúzási eredményeket is elemeztünk, Aqtesolv-val és a MODFLOW NLFP segítségével. Az eredmények alapján ajánlást adtunk próbaszivattyúzás adatokban az esetlegesen jelentkező nemlinearitás kimutatására és hatásának jellemzésére. Eredményeink 3 pontban foglalhatóak össze.

1. A próbaszivattyúzás során nemlineáris áramlás megjelenésére számíthatunk, ha nagy a szivattyúzott vízhozam, illetve kicsi a rétegvastagság, és a vízáradó Forchheimer-paraméter hányadosai nagyok (13. egyenlet). Ez utóbbi kavicsok és repedezett, illetve karsztos kőzetek vizsgálata esetén fordulhat elő a leginkább. A kialakuló nemlineáris áramlások távolhatása a (15) egyenlettel adható meg.
2. A leszívás-idő adatsorokból a nemlineáris áramlás megjelenése a hagyományos vizsgálatokkal nem mutatható ki csak akkor, ha együtt elemezzük a termelő-kút adatsorát egy vagy több megfigyelőkúttal, ha több megfigyelőkút adatsorát együtt vizsgáljuk, vagy ha egy kútnál több szivattyúzott vízhozam leszívási görbéit együtt elemezzük. Nemlineáris áramlás esetén ezeknél az összetett vizsgálatoknál nem lehet jó eredményt elérni a hagyományos Theis-módszerrel, de előfordulhat, hogy a legjobb illeszkedés nagyságrendileg jó becslést ad a vízáradó paramétereire. Többlépcsős próbaszivattyúzás esetén a legkisebb vízhozamú lépcső kiértékelésének paraméterei állnak legközelebb a vízáradó valós paramétereire, hiszen ennél a legkisebb a nemlinearitás hatása.
3. Nemlineáris áramlások jelentkezése esetén a Jacob-módszer akkor is alkalmazható, ha az elméletétől eltérően nem a kúthoz, hanem a vízáradóhoz tartoznak a nemlineáris veszteségek. A Jacob-módszer a nemlinearitás kimutatására nem alkalmas, de az ahhoz kapcsolódó paraméterek meghatározhatóak vele, a (4) egyenletet is felhasználva. Továbbá javasolható a MODFLOW NLFP szoftver használata, automatikus vagy kézi kalibrációval is.

A közölt kutatási eredmények közelebb vihetnek bennünket a nemlineáris felszín alatti áramlás megértéséhez, hatásuk jobb megismeréséhez. Ez különösen fontos lehet a vízellátás szempontjából, ahol nagy hozammal, jó átteresztőképességű kőzetekből nyerünk vizet. Ezen vízáradók pontosabb ismerete, vízkészletének alaposabb feltárása is elérhető lehet a nemlinearitás figyelembe vételével.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönjük az Osztrák-Magyar Akció Alapítvány támogatását, mely lehetővé tette Farkas-Karay Gyöngyi kutatási tartózkodását a Grazi Karl Franzens Egyetem Földtudományok Intézetében Steffen Birk professzor vezetésével.

IRODALOMJEGYZÉK

- Ahmed N, Sunada D. K. (1969). Nonlinear flow in porous media. *Journal of Hydraulic Division, ASCE* 95(6): 1847–1857.
- Anderson M., Woessner W., Hunt R. (2015). *Applied Groundwater Modeling. Simulation of Flow and Advective Transport*. 2nd Edition. Academic Press, Elsevier.
- Doherty J. (2015). *Calibration and Uncertainty Analysis for Complex Environmental Models*. Watermark Numerical Computing, Brisbane, Australia.
- Duffield G. M. (2007). *AQTESOLV for Windows. User's Guide*. Version 4.5 HydroSOLVE, Inc., Reston.
- Jacob C.E. (1947). Drawdown test to determine effective radius of artesian well, *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 112, 1047-1064.
- Forchheimer P. H. (1901). Wasserbewegung durch Boden. *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure.*, 45, 1782-1788.
- Horváth I. (1974). A szűrési sebesség és a hidraulikai gradiens kapcsolata. *Hidrologiai Közlöny*, 54(10): 454-459.
- Karay Gy., Szilágyi M., Hajnal G. (2016). Determination of the transmissivity of a karstified aquifer from mine dewatering data. *Pollack Periodica*, 11(3), 105-118. doi: 10.1556/606.2016.11.3.10
- Kovács Gy. (1972). *A szivárgás hidraulikája*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Mathias S. A., Todman L. C. (2010). Step-drawdown tests and the Forchheimer equation, *Water Resources Research*, 46, W07514, doi: 10.1029/2009WR008635.
- Mayaud C., Walker P., Hergarten S., Birk S. (2015). Nonlinear Flow Process: A New Package to Compute Nonlinear Flow in MODFLOW. *Groundwater*, 53: 645–650. doi:10.1111/gwat.12243
- McDonald M. G., Harbaugh A. W. (1984). *A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model*. U.S. Geological Survey Open-File Report 83-875.
- Öllös G. (1970). *Kúthidraulika*. Budapesti Műszaki Egyetem Tankönyvkiadó, Budapest.
- Sidiropoulou M. G., Moutsopoulos K. N., Tsirintzis V. A. (2007). Determination of Forchheimer equation coefficients a and b. *Hydrological Processes*, 21(4), 534-554.
- Spitzberg S., Ufrecht, W. (2014). Hydraulische Charakterisierung eines urbanen Karstgrundwasserleiters mit Pumpversuchen. *Grundwasser*, 19, 5-16 doi: 10.1007/s00767-013-0241-5
- Venkataraman P., Rao P. R. M. (1998). Darcian, transitional and turbulent flow through porous media. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 124(8): 840–846.
- Ward J. C. (1964). Turbulent flow in porous media. *Journal of Hydraulic Division, ASCE* 90(5): 1–12.

A SZERZŐK

FARKAS-KARAY GYÖNGYI 2013-ban szerzett építőmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. 2013-2016-ig ugyanitt a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéken doktorandusz hallgató, 2016-tól doktorjelölt és tudományos segédmunkatárs. Doktori kutatási témája a repedezett és karsztos kőzetek szivárgáshidraulikai vizsgálata. MSc diplomamunkájával III. díjat nyert a Magyar Hidrológiai Társaság Lászlóffy Woldemár diplomamunka pályázatán 2013 őszén, 2015 óta a Társaság tagja.

HAJNAL GÉZA 1993-ban szerzett építőmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Doktori tanulmányai után a Főmterv munkatársa, majd 1999-től a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék oktatója volt, jelenleg a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék egyetemi docense és tanszékvezetője. PhD fokozatát 2002-ben szerezte. Fő kutatási területe a kisvízgyűjtők hidrológiája és a hidrogeológia.

STEFFEN BIRK 1998-ban szerzett diplomát geoökológiából a Karlsruhei Egyetemen. Ezt követően a Tübingeni Egyetem Alkalmazott Földtudományok Központjának kutatója 2005-ig. 2001-ben szerezte doktori fokozatát. Jelenleg a Grazi Karl Franzens Egyetem Földtudományok Intézetének hidrogeológia professzora. Fő kutatási területe a repedezett és karsztos vízadók hidrogeológiája, hidrologiai és hidrogeológiai modellezés.

VASVÁRI VILMOS 1990-ben szerzett építőmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Doktori tanulmányait a Grazi Műszaki Egyetemen folytatta, 1997-ben PhD fokozatot szerzett. 1991-től 1996-ig majd 2002-2003-ban ugyanitt oktató és kutató volt, azóta a Geoteam GmbH munkatársa. 2015-től a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének címzetes egyetemi docense. Fő kutatási területe a hidrogeológiai modellezés. 1988 óta tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.

Változó klimatikus viszonyok hatásai a vízháztartási mérlegre - Esettanulmány a Bácsbokodi-Kígyós vízgyűjtőjén

Szinetár Márton Miklós*, Csáki Péter*, Keve Gábor** és Gribovszki Zoltán*

* Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet, Erdőmérnöki Kar, Soproni Egyetem, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4. (E-mail: marton.szinetar@gmail.com)

** Vízépítési és Vízgazdálkodási Intézet, Víztudományi Kar, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 6500 Baja, Bajcsy-Zsilinszky u. 12-14. (E-mail: keve.gabor@uni-nke.hu)

Kivonat

Az antropogén klímaváltozás hatásaként 0,6 °C-kal emelkedett meg a földi átlaghőmérséklet a 20. század folyamán, mely növekedés a 21. században a korábbi többszörösen meghaladó mértékű lesz. Magyarországon a növekvő átlaghőmérséklet és csökkenő csapadék hatására az ariditási index növekedése prognosztizált. A változó klimatikus viszonyok hatására a vízkészletek mennyiségi és minőségi állapota megváltozik, mely változás becslése több, a klímaváltozás szempontjából érintett szektor (pl. mező- és erdőgazdaság) számára is fontos. A Bácsbokodi-Kígyós csatorna vízgyűjtőjén a terület hidrológiai és geológiai tulajdonságainak részletes megismerését követően a CREMAP párolgástérkép a vízmérleg segítségével validálásra került. A térben osztott párolgás- és a CORINE felszínborítás térképek egymásra fektetésével a felszínborítás párolgotatásra kifejtett hatása vizsgálható. A területi párolgás értéke a mesterséges felszínektől (439 mm) a mezőgazdasági területeken keresztül (448 mm) az erdőig (492 mm) növekvő tendenciát mutat. A párolgás és a lefolyás jövőbeni változása meghatározásra került egy, a jelen adataival kalibrált, térben osztott Budyko-modell segítségével. Ehhez bemenő adatként 12 regionális klímamodell csapadék és hőmérséklet adatait használtuk fel. A prognosztizált növekvő hőmérséklet és csökkenő csapadéértékek mellett, a területi párolgás értékében a század végéig körülbelül 4,5%-os növekedés, míg a felszíni lefolyás esetében számottevő (-40%) csökkenés várható.

Kulcsszavak

párolgás, lefolyás, felszínborítás, Budyko-modell, klímaváltozás

Effects of the changing climatic conditions on the water balance - Case study on the Bácsbokodi-Kígyós watershed

Abstract

The development of the remote sensing technologies has opened new perspectives for the hydrological sciences, since they provide an opportunity to collect various remotely sensible data from large, heterogeneously-covered areas in a relative high spatiotemporal resolution. Such data enables the spatially distributed calculation of various elements of the water balance e.g.: the actual evapotranspiration (ET_A). Due to the anthropogenic climate change the average temperature of the Earth has risen 0.6 °C during the 20th century, and it is predicted to further increase with an intensified rate in the 21th century. The aridity index of Hungary is to be increased in the future because of the rising average temperature and decreasing precipitation. The changing climatic conditions alter the various components of the water balance in global, regional and local scale, which changes will mostly be measurable by the altering spatio-temporal distribution of temperature (T), precipitation (P), and evapotranspiration values. The water balance of a small Hungarian watershed (Bácsbokodi-Kígyós) was analysed in context of the climate change with a spatially distributed robust hydrological model in different observation periods throughout the 21th century. The Budyko-model – solved with the formula of Schreiber (*Equation 1*) – was calibrated in the period of 2000-2008. During the calibration the evapotranspiration data was acquired from the evapotranspiration map of Hungary for the same period created with the so-called Complementary-relationship-based Evapotranspiration Mapping Technique (CREMAP) (*Figure 1*). Based on the CREMAP the average annual actual evapotranspiration was 452 mm a⁻¹ in period 2000-2008 with minimum and maximum values of 404 mm a⁻¹ and 563 mm a⁻¹. Its average value increases from the artificial surfaces (439 mm a⁻¹) through the agricultural areas (448 mm a⁻¹) towards to the forests (452 mm a⁻¹). In the same period, the alpha parameter of every computation cell (1 * 1 km) was calculated with *Equation 4*. Having the alpha-parameter determined for each cell enabled the calculation of the spatially distributed ET_A values – and thus the runoff/recharge (R) values ($P - ET_A = R$) – with *Equation 5*. The temperature and the precipitation values were acquired from 12 Regional Climate Models (RCM) (*Table 1*). The ET_A and R values were calculated for three (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) observation periods in the upcoming century, and were compared to the reference period (1981-2010). The actual evapotranspiration and recharge values of the reference period were calculated with temperature and precipitation data acquired from the RCM-s thus eliminating the model bias. The actual evapotranspiration shows 1.1%, 4.4% and 4.3% relative increment in the first, second and third observation periods compared to the reference period, while the runoff decreases by -15.0%, -18.5%, and -38.7% in the same periods (*Figure 4*). The dispersion increases in both cases, although with different trend.

Keywords

Evapotranspiration, runoff, surface cover, Budyko-model, climate change

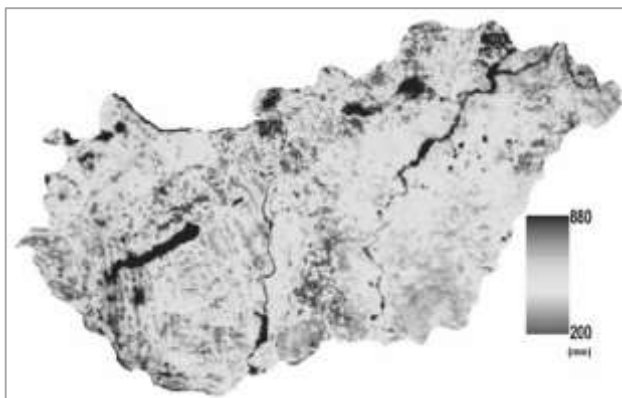
BEVEZETÉS

A távérzékelés megjelenése és térhódítása új utakat nyitott meg a hidrológia számára, mivel lehetőséget biztosít nagy, inhomogén borítású területeken, több – a hidrológiai számításokhoz elengedhetetlen – változó (pl.: felszínhőmérséklet, talajnedvesség-tartalom, felszínborítás) relatíve

gyors számítására, valamint az ezekből származtatott vízmérleg elemek térben osztott becslésére (*Schmugge és társai 2002*). A párolgásnak, mint a hidrológiai ciklus egyik legjelentősebb tételének távérzékelési adatokon alapuló számítása megannyi tudományterület számára szükséges. Ilyen területek az öntözés tervezése és irányítása, a szén es

tápanyagkörforgás modellezése, a (vízgyűjtő) hidrológia valamint a különböző meteorológiai es klimatológiai felhasználások (Kalma és társai 2008). A technika jelen fejlettsége mellett a különböző távérzékelési szenzorokból származó adatok felhasználhatóságát korlátozza az azok tér és időbeli felbontása között fennálló fordított arányosság. A Landsat 5 műhold szenzorjai 16 napos visszatérési idő mellett, 30-120 m-es térbeli felbontásban pásztázzák a föld felszínét. A Terra és az Aqua műholdak MODIS szenzorjai napi felbontásban készítik felvételeket 250 (látható fényhullámok, rövidhullámú sugárzás)-1000 (felszínhőmérséklet) méteres felbontásban, ami alkalmassá teszi a térben osztott hidrológiai és meteorológiai számítások adatigényének kielégítésére, többek között például a napi átlagos párolgásértékek számítására is (Gowda és társai 2008).

Az elmúlt években megannyi módszer látott napvilágot a távérzékelési adatokon alapuló párolgásbecslés számításához, melyekből jó összefoglaló található Gowda és társai (2008) illetve Courault és társai (2005) munkáiban. A legtöbb modell esetében problémát okoz a nagyszámú változó az egyenletekben (over-parameterization), melyekből kifolyólag ugyanaz a kimeneti adat elérhető lesz, nagyban különböző változó értékek mellett. A probléma megkerülésének jó módszerei a változók számának csökkentése valamint az úgynevezett kalibráció-mentes modellek. A CREMAP/Complementary-relationship-based Evapotranspiration Mapping Technique/ (Szilágyi és Kovács 2010) módszer segítségével Szilágyi és Kovács (2011) elkészítették Magyarország térben osztott (1*1 km) párolgástérképét a 2000-2008-as időszakra (1. ábra), mely párolgás adatok adják e munka fő bemeneti paramétereit.



1. ábra. Átlagos éves területi párolgás Magyarországon 2000-2008 között (Szilágyi és Kovács 2011)

Figure 1. Average annual evapotranspiration between 2000 and 2008 (Szilágyi and Kovács 2011)

Az elmúlt pár évtizedben az antropogén hatásra bekövetkezett klímaváltozás bizonyítottan hatással volt és van az összes emberi és természetes rendszerre a Földön. Hidrológiai szempontból a változást főként a csapadék, a hőmérséklet lokális és regionális változása indukálja, melyek hatására változik a hidrológiai ciklus, a vízkészletek mennyiségi és minőségi állapota, valamint a hidrológiai szélsőségek előfordulása. Minden elérhető klímaforgatókönyv szerint a változások a jövőben gyorsuló ütemben zajlanak majd le (IPCC 2014). Magyarország esetében a különböző klímaforgatókönyvek nagy szórásától eltekintve is megál-

lapítható, hogy az országban a melegebbé váló légkör és a csökkenő csapadék eredményeként a hazai ariditási index növekedni fog, továbbá a csapadék éven belüli eloszlásának változása miatt a mediterrán klímajellegek is erősödnek. Az elmúlt pár évtized klimatikus változásai – a további, minden valószínűség szerint bekövetkező változásoktól eltekintve is – gyorsuló ütemben módosítják a hidrológiai ciklust, valamint a vízkészletek mennyiségi és minőségi állapotát. Csökken az éves vízhozam a legtöbb folyó esetében, változik a lefolyás időbeni eloszlása. Jelentős vízkészlet csökkenés várható a Balaton esetében, valamint növekszik a felszíni vizek hőmérséklete (Nováky és Bálint 2013). A mező- és erdőgazdaságra, mint a hidrológiai és klimatológiai szempontból legsérülékenyebb szektorra, jelentős veszélyt jelent az antropogén klímamódosító hatás. Ezért Magyarországon – és más, hasonló adottságú országokban – ahol a mezőgazdaság a nemzetgazdaság egyik meghatározó pillére, még fontosabb, hogy tisztában legyünk a klímaváltozás és az annak hatására bekövetkező változások jelen és jövőbeli mértékével (Mátyás 2014).

A Budyko-féle empirikus modell (Budyko 1974) az egyik legelterjedtebb szárazföldi vízháztartás-modell, mely egy egyszerű empirikus függvény segítségével írja le egy adott időszakban a csapadék és a területi párolgás egymáshoz viszonyított arányát, a rendelkezésre álló csapadék valamint a potenciális párolgás függvényében (Berghuijs 2015). Magyarországon korábban Nováky (1985, 2002) a Zagyva vízgyűjtőjének példáján dolgozta ki a Budyko összefüggésen alapuló osztott paraméterű éghajlat-lefolyás modellt, melyet később a Balaton vízgyűjtőjén is alkalmazott (Nováky 2006). Csóka két Zala megyei kisvízgyűjtőn a Budyko-modell segítségével vizsgálta a klímaváltozás lehetséges vízgazdálkodási hatásait (Csóka 2013). Csáki jövőbeni párolgásbecslésre, illetve a felszínborítás változásának párolgásra kifejtett hatásának vizsgálatára használta a Budyko-modellt Zala megye példáján (Csáki és társai 2014). Keve és Nováky (2010) a Bácsbokodi-Kígyós vízgyűjtőjén alkalmazták a Budyko összefüggést térben osztott lefolyásbecsléshez.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Budyko-féle empirikus modell

A Budyko-féle empirikus modell alapját az a feltételezés adja, miszerint egy területen az éghajlat függvényében vagy a rendelkezésre álló víz vagy pedig a rendelkezésre álló energia a párolgást limitáló tényező. Ennek értelmében megoldása két egyensúlyi egyenletre – a víz- és az energiamérlegre – épül. Kellően hosszú Δt (a vizsgált időszak időtartama) – jelen esetben egy év - esetén, a vízmérleg és az energiamérleg hányadosának felírásával könnyen belátható, hogy az evapotranspirációs hányados ($\frac{ET_A}{P}$) és az ariditási index ($\frac{ET_0}{P}$) között függvénykapcsolat van, mely kapcsolatot Schreiber az alábbi módon határozta meg (Schreiber 1904):

$$\frac{ET_A}{P} = 1 - \exp\left(-\frac{ET_0}{P}\right) \quad (1)$$

ahol ET_A a területi párolgást (mm), ET_0 a potenciális párolgást (mm), P pedig a csapadékot jelöli (mm).

Az 1. egyenletet a potenciális párolgásra rendezve:

$$ET_0 = -P \left(\ln \left(\frac{R}{P} \right) \right) \quad (2)$$

ahol R a lefolyást/beszivárgást jelöli.

Nováky szerint Magyarországra általános érvényű összefüggés alapján a potenciális párolgás a kádpárolgás (ET_{pan}) függvényeként számolható, ahol a függvénykapcsolatot egy a felszínborítás függvényében változó α paraméter adja meg (Nováky 1985):

$$ET_0 = f(ET_{pan}) = -\alpha ET_{pan} = -\alpha \left(36400 \frac{T}{P} + 104 \right) \quad (3)$$

ahol T az adott vizsgálati időszak átlaghőmérsékletét ($^{\circ}\text{C}$) jelöli.

A koncentrált éghajlat-lefolyás modellek térben osztott paraméterű változatát Nováky vezette be a hazai gyakorlatba (Nováky 1985). Ennek egy átdolgozott változatát használta Csáki a Zala vízgyűjtője példáján, ahol az ebben a kutatásban használttal megegyező modell segítségével 2000-2008 közötti időszakra, 4 részvízgyűjtőre végzett validációt lefolyás adatok segítségével (Csáki és társai 2015).

A 2. és a 3. egyenlet összevonásával előállított 4. egyenlet segítségével cellánként meghatározásra került a potenciális és kádpárolgás hányadosaként értelmezett α kalibrációs paraméter. Az egyenletben található három ismeretlen adat (T, P és ET_A) mind rendelkezésre állt térben osztott formában.

$$\alpha = -\frac{ET_0}{ET_{pan}} = \frac{P \left(\ln \left(\frac{P - ET_A}{P} \right) \right)}{\left(36400 \frac{T}{P} + 104 \right)} \quad (4)$$

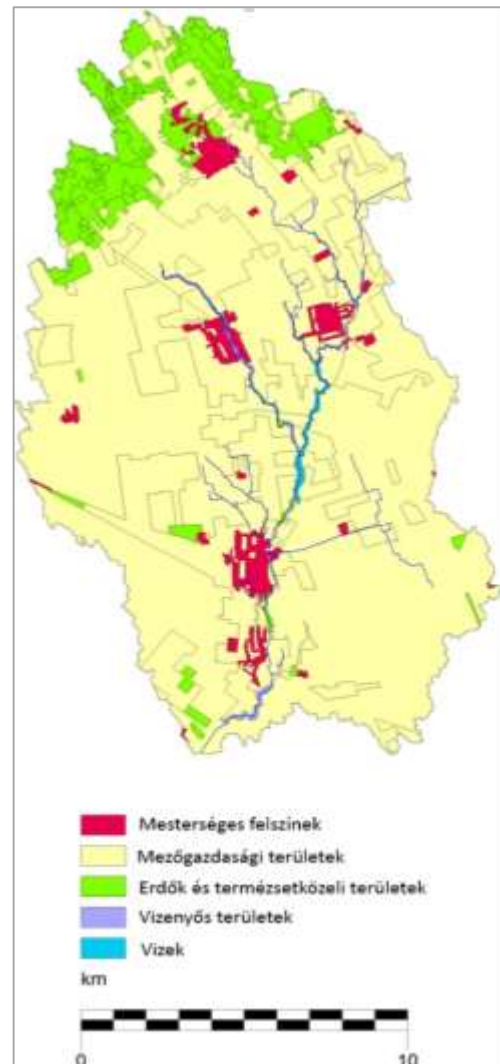
A Budyko-féle empirikus modell segítségével, az α kalibrációs paraméter cellánkénti – jelen esetben 1 km^2 – meghatározását követően az adott cella hőmérséklet és csapadékadatainak ismeretében annak evapotranspirációját becsülni tudjuk (5. egyenlet). Az alfa kalibrációs paraméter az adott cella összes közel állandónak tekinthető jellemzőjét (felszínborítás, talaj, domborzat, geológia, stb.) magába foglalja. Amennyiben tehát a felszínborítás változik az adott cellában az alfa is változik. A felszínborítás jövőbeni változását ennek a munkának a keretében nem vizsgáltuk. A modell e hiányossága egyértelműen meghatározza annak jövőbeni fejlesztési irányát. Az alkalmazott klímamodellekhez hasonlóan, különböző felszínborítás változási forgatókönyvek lefuttatásának segítségével lehetne ezt a kérdést tisztázni.

$$ET_A = P \left(1 - \exp \left(-\frac{\alpha \left(36400 \frac{T}{P} + 104 \right)}{P} \right) \right) \quad (5)$$

A vizsgált terület leírása

A Bácsbokodi-Kígyós csatorna vízgyűjtője (285 km^2) az Alföld déli részén, a szerb-magyar határ valamint a Kiskunság között helyezkedik el, a száraz és a mérsékelt száraz klimatikus öv határán (Dövényi 2010).

A vízgyűjtőről lefolyó vizeket a Bácsbokodi-Kígyós csatorna gyűjti össze és vezeti le a Ferenc-csatornán keresztül a Tiszába (Dövényi 2010). A vízmérleg felírásához elengedhetetlen vízhozam adatokat a csatorna 9,2 cskm-nél lévő mérőműtárgy szolgáltatja. Ezért a vizsgálatunk alapját képező vízgyűjtő e felett a szelvény került lehatárolásra. Az így kapott részvízgyűjtő 235 km^2 -re, a csatorna hossza pedig $30,65 \text{ km}$ -re csökkent (2. ábra).



2. ábra. A Bácsbokodi-Kígyós csatorna és vízgyűjtője. Területhasználati kategóriák a CORINE Land Cover nomenklátúra (2006) alapján

Figure 2. The Bácsbokodi-Kígyós watershed. Surface cover categories are based on CORINE Land Cover (2006)

A terület klimatikus és talajtani adottságaiból fakadóan a domináns területhasználat a mezőgazdaság, mely a terület $85,8\%$ -án található meg. Ezt követik az erdők ($9,7\%$) a mesterséges felszínek ($3,6\%$), valamint a vizenyős területek ($0,6\%$) és a vizek ($0,3\%$) (2. ábra).

Az Agrárklíma 2. Projekt (Mátyás 2014) keretében rendelkezésre álló térben osztott csapadék, illetve hőmérséklet térképek alapján a modell kalibráció időszakában (2000-2008) az éves átlaghőmérséklet $11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, az éves átlagos csapadékmennyiség 593 mm volt.

A területet talajtani adottságainak (kötetlen homoktalajok) következtében felszíni lefolyásról nem, vagy csak egészen extrém esetekben beszélhetünk. A földre hulló csapadék majdnem egésze, közvetlenül a talajra kerülést követően a talajba szivárog, hogy (1) onnan a Bácsbokodi-Kigyós csatornát elérve a területéről lefolyjon, (2) mélybe szivárogjon vagy (3) a talajvízfelszín nyugati irányú gradienseiből fakadóan horizontálisan elszivárogjon.

A terület (talaj) hidrológiájával korábban több cikk is foglalkozott (Szilágyi és társai 2012, Szilágyi és Vörösmarty 1997), melyek alapján az alábbi következtetéseket vontuk le:

- A mélybeszivárgás értéke a rétegvizekből történő vízkivétel növekvő mennyisége miatt az 1951 és 1970 közötti időszak 0 mm-ről az 1971 és 1992 közötti időszakra 28 mm -re nőtt. Az egyes víztartó rétegek közötti kommunikációt a kutatófúrások okozta vertikális szivárgási tényező növekedés csak fokozta. Mivel a folyamat valószínűleg hasonló trenddel tovább folytatódott, ezért az időszakok súlypontjai között eltelt időt felhasználva a mélybeszivárgás a 2000-2008 közötti időszakra 63 mm/év értékkel vehető figyelembe.

- A horizontális felszín alatti elszivárgás átlagos értéke az 1951-1970 közötti időszak, valamint az 1971-1992 közötti időszak adatait összehasonlítva alig változott (30 -ról 29 mm/év -re) így értéke közel állandónak vehető. Térben viszont a Bácsbokodi-Kigyós csatorna vízgyűjtőn érvényes hidraulikus gradiens és a Duna-Tisza közére megadott átlagos hidraulikus gradiens között jelentős eltérés van. A Szilágyi és Vörösmarty által közölt talajvíztérkép szerint, a Bácsbokodi-Kigyós csatorna vízgyűjtőjén a hidraulikus gradiens értéke közel $2,3$ -szorososa az átlagos Duna-Tisza közti gradiensnek, alapvetően a Duna-felé mozgó talajvizet mutatva (Szilágyi és Vörösmarty 1997). Ha a szivárgási tényezőket közel azonosnak vesszük (ami a Szilágyi és Vörösmarty alapján igazolható) a Duna-Tisza köze és a Bácsbokodi-Kigyós csatorna vízgyűjtő viszonylatban, akkor a vizsgált vízgyűjtőről durván 66 mm/év horizontális elszivárgás valószínűsíthető a 2000-2008 közötti időszakra.

- Az ADUVIZIG (Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság) által mért lefolyás adatok alapján a Bácsbokodi-Kigyós csatorna vízgyűjtőről a 2000-2008-as időszakban az éves átlagos lefolyás 16 mm/év .

Felhasznált adatok

CREMAP - Térben osztott párolgástérkép

Szilágyi és Józsa dolgozta ki a MODIS adatokon alapuló térben osztott párolgászámító módszer alapjait, melynek későbbi, Szilágyi és Kovács által módosított változata a CREMAP (Complementary-relationship-based Evapotranspiration Mapping Technique) módszer (Szilágyi és Józsa 2009, Szilágyi és Kovács 2010). A módszer a komplementáris elméleten (Bouchet 1963) alapszik,

melynek értelmében egy adott terület aktuális és potenciális párolgásának összege megegyezik ugyanazon terület nedves környezeti párolgásának kétszeresével, tehát az aktuális és a potenciális párolgás között fordított arányossági kapcsolat van. A módszer ezt az inverz függvénykapcsolatot írja le egy lineáris transzformáció segítségével, mely transzformáció elvégzéséhez szükséges egyenest, két pontpár – nedves pontok átlaghőmérséklete (T_{ws}) és a hozzá tartozó nedves környezeti párolgás (ET_w), valamint a nappali hőmérsékletek felszíni átlaga (T_s) és a hozzá tartozó területi párolgás (ET_A) – jelöli ki. A nappali felszínhőmérsékletek MODIS adatokon alapulnak, a hideg pontok átlaghőmérsékletét pedig Kovács a 200 méter alatti övezetben a Fertő-tóra, a Kis-Balatonra, a Velencei-tóra, a Fehér-tóra eső cellák, valamint a Nyírség leghidegebb pontjainak átlagából határozta meg (Kovács 2011). A területi párolgás értékek a WREVAP-modell (Morton 1985) segítségével, nedves környezeti párolgás értékei a Priestley-Taylor egyenlettel (Priestly és Taylor 1972) kerültek kiszámításra. Szilágyi és Kovács elkészítette Magyarország párolgástérképét a 2000-2008-as időszakra (1. ábra), mely térkép a modell kalibráció egyik fő paramétere volt (Szilágyi és Kovács 2011).

Felhasznált regionális klímamodellek

A párolgás és beszivárgás jövőbeni számításához szükséges hőmérséklet és csapadék adatok az 1. táblázatban felsorolt 12 regionális klímamodellből származnak. Az alkalmazott klímamodellek mindegyike az A1B éghajlati forgatókönyv (A világ népessége a 21. század közepéig növekszik, majd csökkenni kezd. A jövőben gyorsuló gazdasági fejlődést, új és hatékonyabb technológiák rohamos elterjedését prognosztizálja. Fosszilis és nem fosszilis energiaforrások kiegyenlített használatával kalkulál.) alapján végzi a számításait (van der Linden és Mitchell 2009).

1. táblázat. Felhasznált klímamodellek
(<http://www.ensembles-eu.org/>)

Table 1. Used Climate Models (<http://www.ensembles-eu.org/>)

Ssz.	Kutatóintézet	Modell	Meghajtó GCM
1	C4I	RCA3	HadCM3Q16
2	DMI	HIRHAM5	ARPEGE
3	ETHZ	CLM	HadCM3Q0
4	KNMI	RACMO2	ECHAM5-r3
5	MPI-M	REMO	ECHAM5
6	SMHI	RCA	BCM
7	DMI	HIRHAM5	ECHAM5
8	HC	HadRM3Q0	HadCM3Q0
9	HC	HadRM3Q16	HadCM3Q16
10	HC	HadRM3Q3	HadCM3Q3
11	SMHI	RCA	ECHAM5-r3
12	SMHI	RCA	HadCM3Q3

A felhasznált modellek mindegyike $25 \times 25\text{ km}$ -es felbontással rendelkezett. Későbbi használhatóságuk érdekében a számításokhoz szükséges $1 \times 1\text{ km}$ -es felbontás az eredeti felbontás interpolálásával valósult meg. Az alkalmazott klímamodellek mindegyike szabadon hozzáférhető az Európai Unió ENSEMBLES Projekt 1-en keresztül.

Térben osztott csapadék és hőmérséklet térképek

Magyarország térben osztott (1 km^2) csapadék és hőmérséklet adatai a „CarpatClim project”-ben (Lakatos és

társai 2013) elérhetőek voltak, melyek alapján a modell kalibrációs időszak (2000–2008) éves átlagos hőmérséklet és csapadék térképeit elkészítettük.

EREDMÉNYEK

CREMAP validálása

Egy hidrológiai rendszer leírásának a legegyszerűbb módja a tömegmegmaradás elvén alapuló vízmérleg alkalmazása. A vízmérleg egyenlet leírja a T időszak alatt a vízgyűjtőre kerülő és az onnan kifolyó vizek különbségeként értelmezett vízkészlet változást. Amennyiben a T vizsgálati időszak megfelelően hosszú, a vízkészlet változás elhanyagolható, és az egyenlet egyszerűsítve a következőképpen írható fel (Stelczer 2000):

$$P = ET_A + R - R_H + I \quad (6)$$

ahol P a csapadékot, ET_A az evapotranspirációt (területi párolgás), R a felszíni lefolyást, R_H a felszíni hozzáfolyást, I a beszivárgást jelöli. Felszíni hozzáfolyásról a vizsgált vízgyűjtő esetében nem beszélhetünk, azonban a beszivárgást, *A vizsgált terület leírása* című fejezetben leírtak értelmében további két komponensre bonthatjuk tovább:

$$P = ET_A + R + I_V + I_H \quad (7)$$

2. táblázat. A különböző felszínborítási kategóriák és a hozzájuk tartozó éves átlagos párolgás értékek (2000-2008)
Table 2. Surface cover categories and their corresponding average annual evapotranspiration (2000-2008)

Felszínborítás (Corine Land Cover nomenklátúra)	Éves átlagos területi párolgás (mm)				
	Min	Max	Átlag	P%*	Szórás
Mesterséges felszínek	406	463	439	72	19
Mezőgazdasági területek	410	511	448	74	17
Erdők és természet közeli területek	410	563	487	80	45
Vizenyős területek	442	466	452	75	10
Víztestek	459	486	471	78	9
Vizenyős területek	442	466	452	75	10
Víztestek	459	486	471	78	9

*az éves átlagos csapadékmennyiséghez viszonyítva

A vizenyős területek és vizek vártnál alacsonyabb párolgásértékűek oka a felhasznált párolgástérkép – a vízgyűjtő méretéhez viszonyított – relatív kicsi felbontásában kereshető. A 3. ábra mutatja a CORINE felszínborítás térkép és a számítások alapjául felhasznált 1*1 km-es rácsháló egy-

ahol I_V a vízgyűjtőről a felszín alá (mély) beszivárgó vizeket; I_H pedig a vízgyűjtőről horizontálisan kiszivárgó vizeket jelöli.

A CREMAP párolgástérkép korábban az ország több pontján validálásra került (Kovács 2011), azonban ezek között a jelen vizsgálat tárgyát képező vízgyűjtő, illetve ehhez hidrogeológiai szempontból hasonló terület nem szerepelt. A 7. egyenletbe a rendelkezésre álló idősorok (lefolyás, csapadék) valamint *A vizsgált terület leírása* c. fejezetben részletesen tárgyalt becült beszivárgás értéket behelyettesítve az éves párolgás 461 mm-nek adódott 2000-2008 között, mely mindössze 2,2 %-kal tér el a CREMAP által becült 451 mm-es éves párolgástól. Ezek alapján a CREMAP által becült cellánkénti értékek megfelelő alapot adnak a Budyko-féle empirikus modellel történő jövőbeni párolgásbecsléshez.

Párolgástérkép értékelése

A CREMAP párolgástérkép kiemzésre került a felszínborítási kategóriák (CORINE Land Cover 2006) függvényében (2. táblázat). A felszínborítási kategóriák esetében a párolgás a mesterséges felszínektől (439 mm) kezdve a mezőgazdasági területeken (448 mm), vizenyős területeken (452 mm) és vizeken (471 m) keresztül az erdők és természet közeli területek (492 mm) felé haladva fokozatosan növekvő értéket mutatott.

máshoz viszonyított arányát. A vizek és vizes területek minden esetben a vonatkozó pixel területének csekély részét fedik csak le, ebből kifolyólag e vegyes pixelek párolgásértékei a rajtuk megtalálható különböző párolgatósi tulajdonsággal bíró területek átlagaként értelmezhetőek.



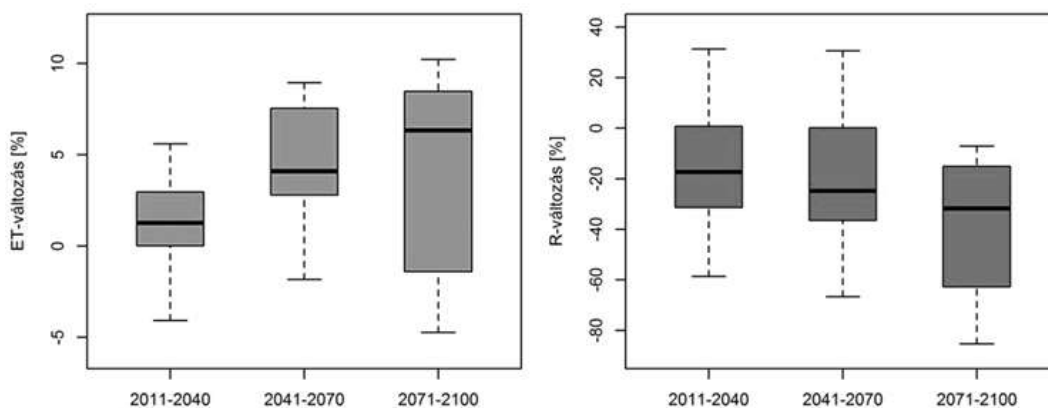
3. ábra. Területhasználati kategóriák és a felhasznált 1*1 km számítási rácsháló egymáshoz viszonyított aránya
(Jelölések: AA: Mezőgazdasági területek, AS: Mesterséges felszínek, FS: erdők és természetközeli területek, WL: Vizes területek, WB: Vizek)

Figure 3. Ratio of the 1*1 km computational grid and the different surface cover categories
(Note: AA: Agricultural Areas, AS: Artificial Surfaces, FS: Forested Areas, WL: Wetlands, WB: Water Bodies)

Jövöbeni párolgás és beszivárgás becslése a Budyko-féle empirikus modell segítségével

A 4. egyenlet segítségével a Budyko-modell számításához szükséges, felszínborítás függvényében jellemző értéket felvevő, α paraméter cellánként meghatározásra került. A 12 Regionális Klímamodell csapadék és hőmérséklet adatait felhasználva, az egyes cellákhoz tartozó α paraméter ismeretében az területi párolgás (5. egyenlet), vala-

mint a csapadék és területi párolgás különbségeként értelmezett beszivárgás szintén kiszámításra került. A modellhibák kiejtése érdekében, a három becstelt időszak (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) területi párolgás és beszivárgás értékei az 1981-2010 referencia időszak értékeivel lettek összehasonlítva, mely időszak számításához a hőmérséklet és csapadék adatok szintén a modellekből származtak.



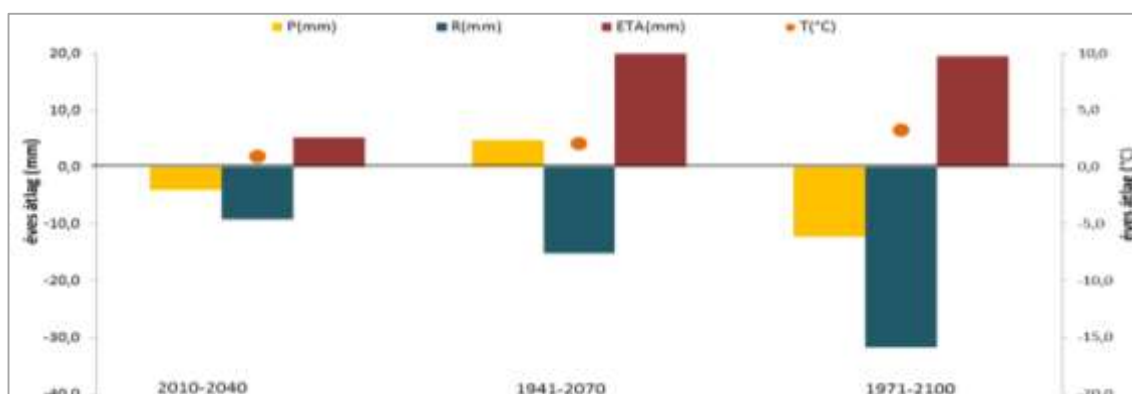
4. ábra. Az evapotranspiráció (ET) és a lefolyás/beszivárgás (R) becstelt változása a 21. században a referencia időszakhoz (1981-2010) viszonyítva (Jelölések: A fekete, vastagon szedett vonal az adatsorok mediánját jelöli)

Figure 4. Projected change of the evapotranspiration (ET) and runoff/recharge (R) during the 21st century, relative to the reference period (1981-2010) (Note: Black bold line shows the median of the dataset in each observation period)

A területi párolgás becslés esetében a 12 modell átlagaként értelmezett változás az első időszakban 1,1%, a másodikban 4,4% a harmadikban pedig 4,3% volt. A 12 modell adatai alapján becstelt értékek mediánjaként értelmezett változás pedig 1,3%, 4,1% valamint 6,3% volt. A beszivárgás esetében a modellek átlagaként értelmezett változása -15% -18,5% és -38,7% volt. Az egyes modellek alapján becstelt változások mediánja pedig -17,3%, -24,9%, -31,7%-os tendenciával változott. Az idő előrehaladtával, eltérő dinamikával, de mindkét esetben nőtt a szórás (4. ábra).

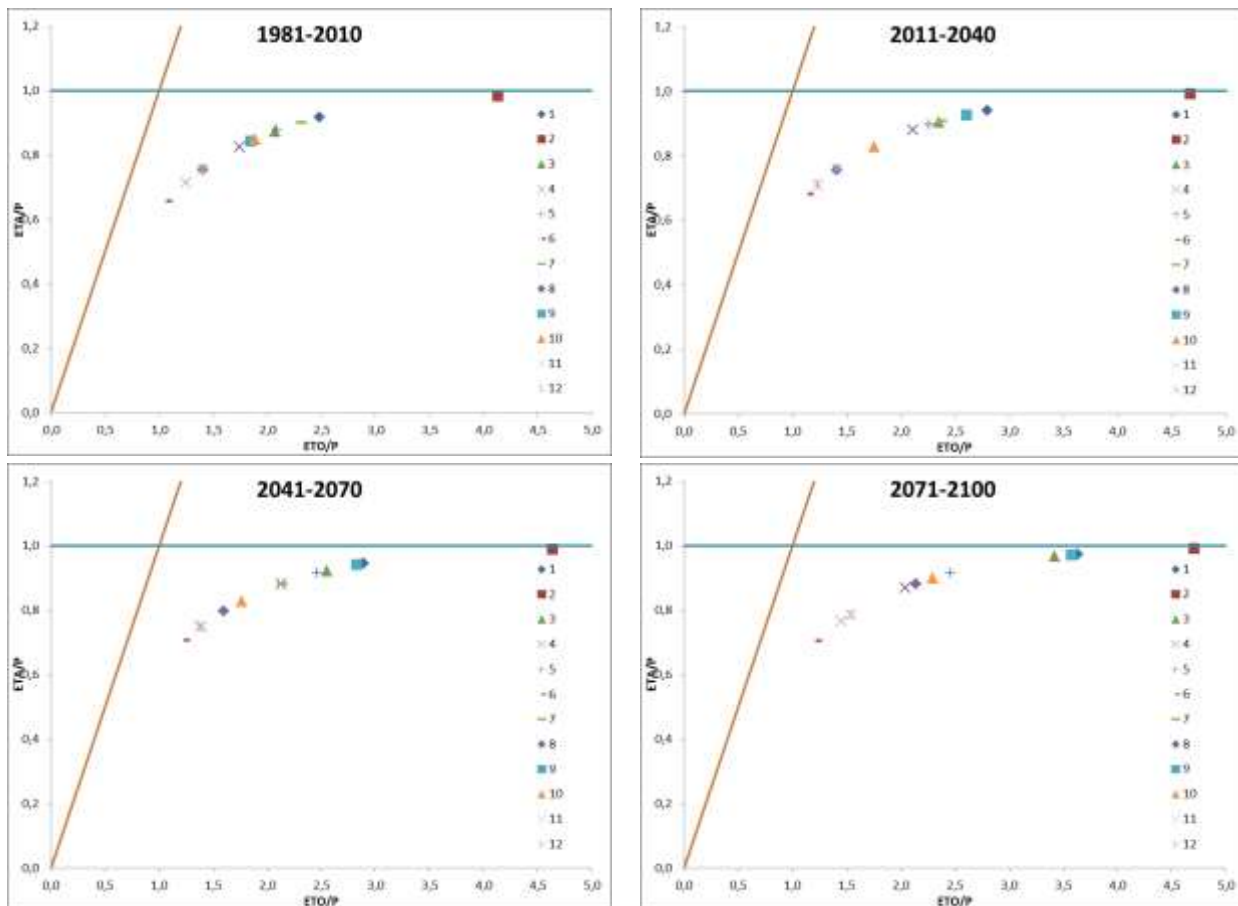
A 12 klímamodell átlagaként értelmezett bemeneti (hőmérséklet, csapadék) és az előállított kimeneti (területi párolgás beszivárgás) modell adatok referencia időszakhoz viszonyított változása az 5. ábrán került összefoglalásra. Bemeneti oldalról a hőmérséklet 10 évenként átlagosan 0,3 °C-kal növekedik, miközben az éves szinten lehulló csapadék mennyisége 1,0 mm-rel csökken. A hőmérséklet

folyamatosan növekvő tendenciát mutat, míg a csapadék esetében a csökkenő tendencia mellett a 21. század közepére enyhe növekedés prognosztizálható. A növekvő hőmérséklet és a csökkenő csapadék hatására a területi párolgás éves mennyisége 1,6 mm-rel növekedik, a lefolyás pedig 2,6 mm-rel csökken évtizedenként. A területi párolgás értéke a második és a harmadik időszakban közel azonos értékű, azonban a csökkenő csapadékmennyiség miatt a lefolyás az utolsó vizsgált időszakban is számottevő csökkenést mutat. A területi párolgás relatív lassuló ütemű növekedésének az oka a Budyko-görbe telítődési görbe alakú párolgotatási és ariditási index egymáshoz viszonyított aránya látható a referencia és a három vizsgált időszakban. Az idő előrehaladtával a modellértékek a Budyko-görbe jobb oldalára, a csapadéklimithez tolnak fel, ahol egy-egy területi párolgás növekedéséhez a potenciális párolgás nagyobb arányú megváltozása szükséges, mint a pályáiv lentebbi szakaszain.



5. ábra. A 12 klímamodell átlagaként számolt klimatikus és vízmérleg adatok referencia időszakhoz (1981-2010) viszonyított változása a 3 vizsgált időszakban

Figure 5. Climatic and hydrological data of the observation periods relative to the reference period (1981-2010), calculated as the arithmetic mean of the 12 climate models



6. ábra. A párolgási index (ETA/P) az ariditási index (ETO/P) függvényében a Schreiber (1904) által meghatározott Budyko-görbe mentén*

Figure 6. Evaporative index (ETA/P) as a function of the aridity index (ETO/P) along the Budyko curve according to Schreiber (Schreiber 1904)*

* Megjegyzés: A számok a klíma modelleket jelölik (1. táblázat), melyekből a csapadék és a hőmérséklet adatok alapján, az ábrán szereplő értékek meghatározásra kerültek. * The numbers help identifying the climate models (Table 1.)

ÉRTÉKELÉS

A 4. egyenlettel számított, valamint a Keve és Nováky által szintén a Bácsbokodi–Kígyós vízgyűjtőjére meghatározott egyes felszínborítási kategóriákhoz tartozó α paraméterek értékének összehasonlítását követően megállapítható, hogy bár értékükben eltérnek egymástól, azonban a tendencia, mellyel értéke a mesterséges felszínektől az erdők felé haladva növekszik, megegyező

(3. táblázat) (Keve és Nováky 2010). Az értékben jelentkező jelentős eltérés azzal magyarázható, hogy Keve és Nováky a mederben mért lefolyásra kalibrálták a modelljüket, és nem vették figyelembe a területen mély-, illetve horizontális szivárgással elhagyó vizeket. Így jelentősen túlbecsülték a területi párolgást, melynek csapadékhöz viszonyított arányát az α paraméter határozza meg.

3. táblázat. A számított α paraméter összehasonlítása a Keve és Nováky (2010) által becsült értékekkel

Table 3. Comparing the calculated (in this study) and estimated (Keve and Nováky 2010) values of the α parameter in case of different land cover categories

	α			Keve és Nováky (2010)	Alfa érték
	max	Min	átlag		
Erdők és természetközeli területek	1,9	0,9	1,3	Cella messze esik a lefolyást biztosító csatornáktól, erdő	2,9
Mezőgazdasági területek	1,4	0,9	1,0	Szántó, de csak a következő cellában van csatorna	2,8
Mesterséges felszínek	1,1	0,8	0,9	Szántó, de van csatorna	2,7
				Markáns csatorna van a cellában	2,5
				Több csatorna is van	2,4
				Szinte a teljes cella település, csatorna is van	2,3

Csáki a Zala megyére felírt Budyko-modell segítségével vizsgálta a felszínborítás párolgotatásra kifejtett hatását, valamint becsülte a területi párolgás jövőbeni változ-

sát. Az α paramétert, az általunk is használt módon, a potenciális és a kádpárolgás hányadosaként állította elő (Csáki és társai 2014). Az itt megállapítottakkal meg-

egyező tendenciával, az α értéke a mesterséges felszínektől a mezőgazdasági területeken keresztül az erdőig növekedik. Értéke 1,8 és 2 között változik, mely különbség, a két terület jelentősen különböző hidrológiai adottságait figyelembe véve (Zala megye: $ET_A/P \cdot 100 = 88\%$, Bácsbokodi-Kígyós: 74%) okszerűen magyarázható.

A vizsgált terület leírása fejezetben több, a terület talajvízháztartásával kapcsolatos megállapítást is tettünk. Korábbi kutatások alapján a vizsgált területről mélybeszivárgó vizek éves átlagos mennyiségét 63 mm-re, a horizontális elszivárgást 66 mm-re becsültük a 2000-2008-as időszakra. Az előbbi két értéket valamint az ugyanezen időszakban mért éves átlagos lefolyást összegezve a vízmérleg veszteségi oldala 145 mm/év-re adódik, ami 9 mm-el alacsonyabb, mint a csapadék és a CREMAP által becsült párolgásérték különbségeként számított érték. Ezek alapján a terület talajvízháztartásával kapcsolatos becslések jó közelítő értéként vehetőek számításba.

A felszínborítás párologtatásra kifejtett hatása annak ellenére is kimutatható volt, hogy az ötből három kategória is alig pár százalékban található meg a területen. Különösen igaz ez a vizenyős területekre és a vizekre, melyek a terület kevesebb, mint 1-1%-án található meg, és az előfordulási pixeleken belül is csupán csekély területet foglalnak el. Ebből kifolyólag a kevert pixelek párolgás értéke a rajtuk megtalálható különböző párologtatási tulajdonsággal bíró felszínborítási kategóriák egymáshoz viszonyított súlyozott arányában változik. A számítási felbontás növelésével, valamint nagyobb vízgyűjtők esetében kizárólag tiszta pixelek (területének minimum 90% homogén területhasználat) használatával a probléma talán kiküszöbölhető lehet a jövőben.

ÖSSZEFOGLALÁS

A Bácsbokodi-Kígyós csatorna és vízgyűjtőjének természetföldrajzi és hidrológiai tulajdonságainak ismeretében a CREMAP párolgástérkép validálásra került a vízmérleg segítségével, mely alapján a párolgástérkép által becsült érték (451 mm) megfelelő pontossággal közelíti (2,2% eltérés) a vízmérleg segítségével számított értéket. A térben osztott párolgástérkép és a (CORINE) felszínborítási térkép ismeretében a felszínborítás párolgásra kifejtett hatása vizsgálható. Ennek alapján a területi párolgás a mesterséges felszínektől (441 mm) kezdve a mezőgazdasági (450 mm) és vizenyős területeken (452 mm) valamint a vizeken (471 mm) keresztül az erdők és természetközeli területek (492 mm) felé haladva fokozatos növekvő tendenciát mutat.

A Budyko-modell segítségével, 12 regionális klíma-modell hőmérséklet és csapadékadatát felhasználva egy referencia (1981-2010) és három jövőbeni vizsgált időszakra (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) a területi párolgás és a beszivárgás meghatározásra került. Ezek alapján a területi párolgás a három vizsgált időszakban a referencia időszakhoz viszonyítva 1,1%, 4,4% illetve 4,3%-al növekedik, míg a beszivárgás -15%, -18,5% és -38,7%-kal csökken.

Az itt kapott eredmények – különös tekintettel a térben osztott Budyko-modellben a felszínborítás függvényében

változó, kvázi a területi párolgás csapadékhöz viszonyított arányát meghatározó α – kiértékelésre kerültek a korábbi, hasonló témában íródott munkák függvényében. Az alfa értékek a korábbi kutatások által számolt, illetve becsült értékeknél alacsonyabbak lettek, azonban a tendencia, mellyel a különböző felszínborítási kategóriák függvényében változik, megegyező. Az α értékben való eltérés, a korábban figyelmen kívül hagyott beszivárgási összetevő számításba vételével magyarázható.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az Agrárklíma.2 VKSZ_12-1-2013-0034 projekt támogatta. Gribovszki Zoltán munkája a kutatásban az Európai Unió és Magyarország támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg.

IRODALOM

Berghuijs, W., Greve, P. (2015). *A review of the Budyko water balance framework*, Conference Paper, EGU General Assembly, Vienna, Vol. 17

Bouchet, R. J. (1963). *Evapotranspiration réelle, evapotranspiration potentielle, et production agricole*. *Annal. Agronom.*, 14: 543–824.

Climate and Life (1974). Budyko, M. I., Academic, Orlando, Fla.

Csáki, P., Kalicz, P., Brolly, G.B., Csóka, G., Czímber, K., and Gribovszki, Z. (2014). Hydrological impacts of various land cover types in the context of climate change for Zala County. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 10(2), 115-129.

Csáki P., Gyimóthy K., Kalicz P., Kisfaludi B., Gribovszki Z. (2015). Development and validation of a climate-runoff model for the Zala River Basin. In: Zoltán Gribovszki, Kamila Hlavčová, Péter Kalicz, Silvia Kohnová, Gemma Carr (eds.) *HydroCarpath-2015, Catchment processes in regional hydrology: Linking experiments and modelling in Carpathian drainage basins*. Vienna, Austria, 2015.10.29. *University of West Hungary Press*, 2015. Paper 3. 7 p. (ISBN:978-963-334-268-8)

Courault, D., Seguin, B. & Olioso, A. (2005). Review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: From empirical to numerical modeling approaches, *Irrigation and Drainage Systems*, vol.19, issue 3, pp 223-249

European Environment Agency, *European Topic Centre for Spatial information and Analysis* (2006). *Corine Land Cover (CLC)*, Copenhagen, Denmark.

Csóka G. (2013). *A klímaváltozás vízgazdálkodási hatásainak vizsgálata éghajlat-lefolyási modellekkel*. Diplomamunka, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron.

Magyarország kistájainak katasztere (2010). Második bővített kiadás, Dövényi, Z., MTA Földtudományi Kutatóintézet, Budapest.

- Gálos, B., Führer, E., Czímber, K., Gulyás, K., Bidló, A., Hänsler, A., Jacob, D., Mátyás, Cs. (2015). Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County, *Időjárás, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* Vol. 119, No. 4, October – December, 2015, pp. 425–441
- Gowda, P.H., Chavez, J.L., Colaizzi, P.D., Evett, S. R., Howell, T. A., Tolk, A. J. (2008). ET mapping for agricultural water management: present status and challenges, *Irrigation Science* vol. 26, issue 3, pp 223-237
- Kalma, J., D., Mcvicar, T., McCabe, M., F. (2008). Estimating Land Surface Evapotranspiration: A Review of Methods Using Remotely Sensed Surface Temperature Data. *Surveys in Geophysics* 29(4)421-469
- Kovács Á. (2011). *Tó- és területi párolgás becslésének pontositása és magyarországi alkalmazásai*. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.
- Keve G. és Nováky B. (2010). *Klímaváltozás hatásának vizsgálata a Bácsbokodi-Kígyós csatorna vízgyűjtőjén Budyko-modell alkalmazásával*. A Magyar Hidrológiai Társaság XXVIII. Országos Vándorgyűlése (Sopron, 2010. július 7-9.).
- Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., & Szalai, S. (2013). Creation of a homogenized climate database for the Carpathian region by applying the MASH procedure and the preliminary analysis of the data. *Időjárás, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* Vol. 117 No. 1, 143-158.
- Mátyás Csaba (2014) . Bevezetés: az „Agrárklíma” projekt és a megvalósítás tanulságai. In: *Agrárklíma: Az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti- és agrárszektorban*, Bidló, A., Király, A., Mátyás, Cs. (szerk.) Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, pp. 5-6.
- Morton, F.I. Ricard, F. and Fogarasi, S. (1985). *Operational estimates of areal evapotranspiration and lake evaporation – Program WREVP*. National Hydrological Research Institute, Paper 24, Ottawa, Ontario, Canada.
- Nováky B. (2006). *Impact of climate change on mean annual water balance of Lake Balaton*. International Conference on Climate Change on Impacts and Responses in Central and Eastern European Countries, International Conference Climate Change, 5-8, November 2005, Pécs, Hungary. Proceedings (eds: Lang, I., Faragó T., Ivanyi Zs.), pp.122-131
- Nováky B. (1985). *A lefolyás éghajlati adottságai a Zagyva-Tarna vízrendszerben*. Vízügyi Közlemények, Vol.67, No. 1, pp. 78-93.
- Nováky B. (2002). Mapping of mean annual actual evaporation on the example of Zagyva catchment area. *Időjárás Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, Vol. 106 N. 3–4 pp. 227–238.
- Nováky B., and Bálint, G. (2013). *Shifts and Modification of the Hydrological Regime Under Climate Change in Hungary*, Climate Change - Realities, Impacts Over Ice Cap, Sea Level and Risks, Prof. Bharat Raj Singh (Ed.), InTech,
- Priestley, C. H. B. and Taylor, R. J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*. 100: 81–92.
- Schmugge, T., J., Kutas, W., P., Ritchie, J., C., Jackson, T., J., Rango, A. (2002). Remote sensing in hydrology, *Advances in Water Resources* Vol. 25 pp.1367-1385
- Schreiber P. (1904). Über die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserführung der Flüsse in Mitteleuropa, *Z. Meteorol.*, vol:21 iss:10 pg:441– 452
- Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (2014). Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-31.
- Stelczer K. (2000). *A vízkészlet gazdálkodás hidrológiai alapjai*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, Egyetemi és Főiskolai Tankönyv.
- Szilágyi, J, Vörösmarty, C (1997). Modelling unconfined aquifer level reductions in the area between Danube and Tisza rivers in Hungary, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 45(5) pp. 328-347.
- Szilágyi, J., Józsa, J. (2009). Estimating spatially distributed monthly evapotranspiration rates by linear transformations of MODIS daytime land surface temperature data. *Hydrology and Earth System Sciences*. 13(5), 629–637.
- Szilágyi, J., Kovács, Á. (2010). Complementary-relationship-based evapotranspiration mapping (cremap) technique for Hungary. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 54(2) pp. 95-100.
- Szilágyi, J., Kovács, Á. (2011). A calibration-free evapotranspiration mapping technique for spatially-distributed regional-scale hydrologic modeling. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 59(2), pp. 118-130.
- Szilágyi, J., Kovács, Á., Józsa, J. (2012). Remote-sensing based groundwater recharge estimates in the Danube-Tisza sand plateau region of Hungary, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 60(1)
- van der Linden, P., Mitchell, J. F. B. (2009). ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.

A SZERZŐK



SZINETÁR MÁRTON MIKLÓS Felsőfokú tanulmányait a Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Karán kezdte Környezetmérnöki szakon, ahol már alapszakos korában a vízhez kapcsolódó mérnöki tudományterületekre specializálódott. A Környezetmérnöki mesterszakkal párhuzamosan Bécsben, a BOKU University of Natural Resources and Life Sciences egyetem nemzetközi mesterképzésében vett részt, ahol 2017-ben okleveles vízépítési és vízgazdálkodási mérnök (Dipl.-Ing. Water Management and Environmental Engineering) diplomát szerzett. A JOINT Study tanulmányi ösztöndíjprogram keretében 2015-ben fél évig az Egyesült Államokban, a West Virginia University tanulója volt. Mind az alapszakos mind pedig a mesterszakos diplomáit vízgazdálkodás és vízépítés témakörben írta meg. 2014 óta a BOKU vízépítési tanszékén dolgozik kutatási asszisztensként, emellett jelenleg a Soproni Egyetem Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézetének gyakornoka.

GRIBOVSZKI ZOLTÁN Okleveles erdőmérnök; vízépítő, vízkészletfeltárás-vízrajz egyetemi szakmérnök. PhD: erdészeti és vízgazdálkodási tudományok; PhD: építőmérnöki tudományok; doktor habil: környezettudományok. 2016-tól egyetemi tanár a Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézeténél.

KEVE GÁBOR Okleveles építőmérnök; PhD jelölt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Egyetemi tanársegéd a Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Intézeténél.

CSÁKI PÉTER Okleveles környezetmérnök; PhD hallgató a Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézeténél.

Intenzív halnevelő telepről származó elfolyóvíz öntözésre való alkalmasságának vizsgálata

Kun Ágnes

Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ (NAIK), Öntözési és Vízgazdálkodási Önálló Kutatási Osztály (ÖVKI), 5540 Szarvas, Anna liget 8. (Email: kun.agnes@ovki.naik.hu)

Kivonat

A jövőben várhatóan felértékelődik a nem hagyományos vízforrások jelentősége a mezőgazdaságban, különösen az öntözéses gazdálkodásban. Jelen tanulmányban két különböző eredetű és minőségű (öntöző)víz szikesedéssel összefüggő jellemzőit vizsgáltam. A Szarvas-Békésszentandrás Holt-Körösből származó víz (Körös víz) kifogástalan öntözővíz minőséggel rendelkezik és valamennyi talajon korlátozás nélkül alkalmazható. Egy szarvasi intenzív halnevelő telepről származó elfolyóvíz (~1000 m³/nap) magas összes oldott sótartalommal (>500 mg/l), szódaegyenértékkel értékkel (>1,25), SAR értékkel (>3,5) és nátriumszázalékkal (>35%) rendelkezik, mivel a folyamatos vízutánpótlás termásvíz felhasználásával történik. Az elfolyóvíz minősége előrejelzi a másodlagos szikesedés bekövetkezését. Emiatt kísérleteimben, az elfolyóvíz közvetlen kiöntözése mellett különböző vízkezelési módok (létesített vizes élőhelyen történő kezelés, hígítás, gipszes kezelés) által nyert „kezelt” vizek kémiai jellemzőit is vizsgáltam. Az elfolyóvíz tápanyagtartalmának csökkentésére kialakított vizes élőhely négy tóból áll, melynek első stabilizációs tavából nyert öntözővíz kémiai jellemzői a kiindulási állapothoz képest még nem módosultak. A hígítás nélküli, gipszes kezelésen átesett elfolyóvíz fajlagos elektromos vezetőképessége (EC) megemelkedett, ugyanakkor javult a Ca/Na arány, csökkent a SAR érték és a Na%. A hígított+gipszesített elfolyóvíznek minden vizsgált öntözővíz minőségre vonatkozó mutatója lecsökkent és megközelítette a Körös vízben mért értéket, azaz a hazai, a FAO és az USDA minősítő rendszerek alapján is jobb vízminőségi kategóriába sorolható, mint a nyers elfolyóvíz, így öntözésre alkalmas vízminőségnek tekinthető.

Kulcsszavak

Öntözővíz minőség, nátrium adszorpciós arány, összes oldott sótartalom, másodlagos szikesedés, szerves nitrogén

Reuse of effluent water of intensive fish farm for irrigation purposes: Assessment of water quality

Abstract

In the near future the non-conventional water sources may become more important in the agricultural production, especially irrigation farming. For the assessment of the non-conventional waters for irrigation purposes several soil and water chemical parameters are needed to take into account. In this study two types of irrigation water from different sources were examined in connection with salinization. The control water originated from an oxbow lake of Körös River (Körös water) has excellent irrigation water quality and it can use in case of all soil types. The deep-groundwater based effluent water originated from an intensive fish farm has high total dissolved salt content (> 500 mg/l), residual sodium carbonate value (>1.25), SAR value (>3.5) and sodium percentage (>35%) in this manner the soil salinity can be predicted. Due to the quality problems the effluent water was treated by different kind of ways. The chemical properties of effluent water from the constructed wetland system (irrigation water originated from the first stabilization pond) were the same as the original effluent water; the system was not able to improve the water quality. The electrical conductivity of the effluent water was increased by the treatment of gypsum meanwhile the rate of Ca:Na improved, SAR value and Na% decreased. This type of treated effluent water had the best quality for irrigation. All of the determining irrigation water parameters of the diluted effluent water with gypsum decreased; there were very similar to the Körös water and it could be classified into better irrigation water category than the original effluent water according to the Hungarian classification, FAO and USDA classification systems as well.

Keywords

Irrigation water quality, sodium adsorption ratio, total dissolved solids, salinity, inorganic nitrogen

BEVEZETÉS

A globális vízhiány legnagyobb kihívása, hogy a népesség és az élelmiszerigény növekedése, a városiasodás és a klímaváltozás egyaránt növelik a vízkészlet és vízigény közti távolságot (*Hussain és társai 2002*). A világ népessége a jelenlegi 7,5 milliárd főről várhatóan 9,6 milliárd főre növekszik 2050-re (*United Nations 2013*). A FAO becslése szerint a 2005-2007 évek globális mezőgazdasági termeléséhez képest 60% növekedést kell elérni a növekvő népesség élelmiszerellátásához (*FAO 2013*). Az urbanizáció az édesvízi ökoszisztéma egyre nagyobb fokú terhelését és a vízigény növekedését okozza (*Fitzhugh és Richter 2004*). A klímaváltozás következtében változó hozzáférhető vízkészletek hatással vannak az ipari vízfelhasználásra, a vízierőművek működésére, a hajózásra, a vízi ökoszisztémára, a turizmusra és az öntözésre (*IPCC 1996*).

A vízkészletekért folyó növekvő verseny az agrárium, az ipar, valamint a lakosság vízfelhasználása közt egyre inkább arra ösztönzi a mezőgazdaságot, hogy a nem hagyományos vizek, szennyvizek hasznosítását helyezze előtérbe, amely a világon egyre inkább elterjedtebbé válik (*Winpenny és társai 2010, Francés és társai 2017, Vermes 2017*). Becslések szerint a globális népességének legalább 10%-a fogyaszt olyan növényből készült élelmiszert, amelyet szennyvízzel öntöztek (WHO, 2006) és megközelítőleg 20 millió ha a szennyvízzel öntözött területek nagysága (*Jiménez és társai 2010, Quadir és Scott 2010*).

Magyarországon közel 300 helyen bocsátanak ki használt rétegvizet, amely további felhasználás nélkül egy felszíni vízbefogadóba kerül. A vízkibocsátó helyek 69%-a termál-, gyógy- és strandfürdőkből, 7%-a kertészetekből

és 24%-a egyéb ipari, mezőgazdasági vagy közcélú vízfelhasználási helyről származik (pl. baromfinevelő telepek, sertéstelepek, termálvíz tározó tavak, kórházak és gyógyintézetek stb.). A felsorolt létesítmények évente összesen több mint 48 millió m³ rétegvizet engednek el a felszíni vizekbe. A legtöbb vizet a fürdők bocsátanak ki: évente összesen kb. 36 millió m³-t. Összesen 202 fürdő kibocsátott vízének vízminőségére vonatkozó adatai közül 104 eset 14%-ában kisebb a nátrium-egyenérték, mint 45%, amely határérték felett a vizek öntözésre való felhasználása korlátozott. A szennyvíz összes oldott só tartalmát 78 fürdő esetében megvizsgálva, csupán 10 fürdőnél volt 500 mg/l alatt a kibocsátott víz koncentrációja, amely korlátozás nélkül felhasználható öntözővíz minősítés szerint. További 20 esetben 500-1000 mg/l és 48 esetben 1000 mg/l feletti só koncentrációval rendelkeznek. A megvizsgált 78 fürdő szennyvizének összesen 37,5%-a felel meg só koncentráció értéke alapján öntözésre. A kertészetek által kibocsátott vizek esetében egyetlen esetben sem volt 45% alatt ez a vízminőségi mutató és csak három esetben volt 1000 mg/l alatt a só koncentráció.

A mezőgazdasági felhasználásra alkalmas használt vizek közé tartozik a halastavakból származó vizek, a feldolgozóipar, élelmiszeripar és szeszfőzdek szennyvizei, amelyek vízkibocsátása megközelítőleg évente 61, 41, 9 és 1 millió m³, rendre. A halastavakból elfolyó vizeknek van a legnagyobb átlagos nitrogén tartalmuk. Az országban összesen 48 halastó átlagosan 3863 kg/év nitrogént és 450 kg foszfort bocsát ki a felszíni vízbefogadóba. Az élelmiszer feldolgozásból származó szennyvizekkel átlagosan üzemenként 2427 kg nitrogén és 2296 kg foszfor kerül évente a felszíni vizekbe. A szeszfőzdekből származó szennyvizekkel üzemenként, évente átlagosan 1535 kg nitrogén és 218 kg foszfor jut a közvetlenül a felszíni befogadóba.

A szennyvíz öntözéses felhasználásának egyik legnagyobb előnye a magas tápanyagtartalom. Korlátját a vizek szikességgel összefüggő kémiai jellemzői okozzák, legtöbbször a magas összes oldott só tartalma, a nátrium és hidrogén-karbonát tartalma miatt. A szennyvíz sótalanítása öntözési célból egyelőre rendkívül költséges eljárás, ezért különleges víz-, illetve talaj kezelési megoldásokra, vagy az alkalmas növénykultúrák megválasztására van szükség a szennyvizek kiöntözése során bekövetkező szikesedés és nátriumosság elkerülése végett. A szikesedés bekövetkezésével a talaj összes oldható só tartalma megnövekszik, amely káros hatással lehet a nem sótűrő növények növekedésére. A talaj kicserélhető nátriumtartalmának növekedése (nátriumosság) következményeként elsősorban a talaj vízgazdálkodási tulajdonságai romlanak: a talaj aggregátumok, morzsák elemi szemcsékre esnek szét, majd eltömik a szabad pórusteret, így akadályozzák a víz szabad áramlását, csökkentve a talaj vízvezető-képességét.

A szennyvízöntözés hatására bekövetkező szikesség és nátriumosság szabályozásának általam vizsgált lehetősége a víz hígítása és a szennyezettség kémiai módszerekkel történő javítása, amely csökkenti a szikesedés kockázatát és növeli a víz felhasználhatóságát. *Malash és társai (2005)* a legnagyobb paradicsom terméshozamot felszíni édesvíz (550 $\mu\text{S}/\text{cm}$) és sós öntözővíz (4200-4800 $\mu\text{S}/\text{cm}$)

3:2 arányban történő keverése mellett érték el. *Arany (1955)* szerint a szikes víz (magas Na₂CO₃ tartalmú), ha kis szilárd maradékú, esetenként javítással alkalmassá tehető öntözésre. *Arany (1955)* szerint a vízben a szódát a Ca²⁺ ion koncentráció növelésével semlegesíteni lehet. *Dzubay (1957)* szerint azon vizek gipszesítése (CaSO₄ hozzáadása), amelyek szárazmaradék 200-300 mg/l között van, eredményes lehet a szikesedés megelőzése szempontjából. *Vermes (1977)* szerint, ha a szennyvíz nátrium százalék értéke meghaladja a 40-50%-ot, kémiai vízjavítással lehet csökkenteni. *Purves (1977)* szerint a szennyvíz mészsóval (magas kalcium-karbonát tartalmú anyaggal) való kezelése hasznos kalciummal látja el a talajt és stabilizálja a talaj pH értékét. *Albert (1997)* szerint lúgosan hidrolizáló nátrium sókat tartalmazó vizek kémiai javítása történhet gipszsóval, amennyiben kis sókoncentrációjú hidrokarbonátos vízről van szó. *Simmons és társai (2010)* a magas sótartalmú vizek hosszú távú öntözéses felhasználása esetén a víz hígítását és ahol elérhető, Ca tartalmú anyag hozzáadását javasolja hely-specifikus, megelőző gyakorlat és kezelési stratégia részeként.

Jelen tanulmányban egy mezőgazdasági eredetű elfolyóvíz nyers, illetve kezelt formáit (létesített vizes élőhelyen történő kezelés, hígított és kémiai javítóanyaggal kezelt, csak kémiai javítóanyaggal kezelt) és kontrollként a Hármas-Körös Bikazugi-holtágából származó víz kémiai jellemzőit vizsgáltam. Az értékelés elsődleges szempontja az öntözésre való alkalmasság megítélése volt. A minősítést több minősítő rendszer alapján végeztem el azzal a céllal, hogy az elfolyóvízben található, öntözést korlátozó tulajdonságokról tett megállapítások által egyúttal átfogó áttekintést nyújtsak a hazai aktuális öntözővíz minősítésre vonatkozó szabályozásról és a nemzetközi gyakorlatról is.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Mintavétel

Az elfolyóvíz egy szarvasi intenzív afrikai harcsanevelő telepről származik. Az átfolyóvízes rendszerben történő halnevelés során a halak takarmányozására magas fehérjetartalmú tápokot használnak, amelyhez a megfelelő vízminőséget folyamatos vízcserével, termálvíz kútból biztosítják (*Tóth és társai 2016*). Emiatt naponta jelentős mennyiségű elfolyóvizet bocsátanak ki (~1000 m³/nap). A lecserélt víz nagy mennyiségben tartalmaz kiválasztott anyagcsere-termékeket, ürüléket, egyéb szerves anyagot, esetleg vegyszert vagy antibiotikumot (*Tóth és társai 2016*). A használt víz befogadója egy létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer, amely 4 tóból áll: két növényzet nélküli stabilizációs tóból és két vízi növényzetes tóból (*Tóth és társai 2016*). A tavakon keresztülhaladó elfolyóvíz befogadója a Szarvas-Békésszentandrás Holt-Körös (Kákafoki-holtág). A vízmintavétel a telepről közvetlenül elfolyó, kezelés nélküli elfolyóvízből (későbbiekben *nyers elfolyóvíz*) történt, a vizes élőhely első stabilizációs tavából (*tóból származó elfolyóvíz*) és a Hármas-Körös Bikazugi-holtágából (*Körös víz*). A hígított és kémiailag javított nyers elfolyóvíz (*hígított+gipszesített elfolyóvíz*), illetve a csak kémiailag javított elfolyóvíz (*gipszesített elfolyóvíz*) mintavétele a NAIK ÖVKI Liziméter Telepén történt a kezeléseket követően. A mintavételezés 2015-ben kezdődött, a tanulmányhoz a 2015. és a 2016. évi vízminták vizsgálatának eredményeit használtam

fel. A mintavételek az öntözési idény alatt, havi gyakorisággal történtek (valamennyi elemzéshez felhasznált víz mintavétele a MI-10-172/9-1990 sz. műszaki irányelv előírása szerint április 15. és szeptember 30. közötti időszakban valósult meg). Összesen 33 vízminta eredményét használtam fel az elemzésekhez.

Laboratóriumi analízis

A vízvizsgálatok a NAIK ÖVKI Környezetanalitikai Központ Vizsgáló Laboratóriumában történtek. Minden kémiai paraméter analízise a vonatkozó magyar szabvány szerinti akkreditált méréssel történt vagy akkreditált mérés eredményéből számolt (1. táblázat).

1. táblázat. A vízvizsgáló módszerek és az alkalmazott szabványok összefoglalása
Table 1. Summary of the water analytical methods and standards

Vizsgált paraméter	A vizsgálat típusa	A vizsgálati módszer	Műszer
pH	potenciometria	MSZ EN ISO 10523:2012	INOLAB pH Level 2P
Fajl. elekt. vez.kép. (EC) (μS/cm)	konduktometria	MSZ EN 27888:1998	INOLAB Cond Level 2P
m-lúgosság	acidimetria	MSZ ISO 9963-1:1998	
Hidrogén-karbonát (mg/l)	számítás	MSZ ISO 9963-1:1998	szabvány szerint számítással
Ammónium-N (mg/l)	FIA spektrofotometria	MSZ EN ISO 11732:2005	LACHAT QC 8500
Nitrát-N (mg/l)	FIA spektrofotometria	MSZ EN ISO 13395:1999	LACHAT QC 8500
Nitrit-N (mg/l)	FIA spektrofotometria	MSZ EN ISO 13395:1999	LACHAT QC 8500
Összes szerves N (mg/l)	számítás	MSZ 12750-20:1972 (visszavont szabvány) 2.2 szakasz	szabvány szerint számítással
Összes szerves N (mg/l)	számítás	MSZ 12750-20:1972 (visszavont szabvány) 2.2 szakasz	szabvány szerint számítással
Összes N (mg/l)	spektrofotometria	MSZ EN ISO 11905-1:2000	LANGHE Ganimede N
Ortofoszfát-P (mg/l)	FIA spektrofotometria	MSZ EN ISO 15681-1:2005	LACHAT QC 8500
Összes P (mg/l)	spektrofotometria	MSZ EN 1189:1998 (visszavont szabvány)	LANGHE Ganimede P
Klorid (mg/l)	argentometria	MSZ 1484-15:2009	EVOLUTION 300
Szulfát (mg/l)	spektrofotometria	MSZ 12750-16:1988	EVOLUTION 300
Ca (mg/l)	AAS-láng	MSZ 1484-3:2006	Thermo SOLAAR M6
Mg (mg/l)	AAS-láng	MSZ 1484-3:2006	Thermo SOLAAR M6
Na (mg/l)	AAS-láng	MSZ 1484-3:2006	Thermo SOLAAR M6
K (mg/l)	AAS-láng	MSZ 1484-3:2006	Thermo SOLAAR M6

Statisztikai elemzések

A legtöbb paraméter esetén a Körös és az elfolyóvíz minőségének évek közötti különbségének értékeléséhez (2. és 3. táblázat) független mintás T-próbát (T-test, Independent Samples) alkalmaztam. Szórássegélyezés hiányában az elfolyóvíz ammónium-N, összes szerves-N és nátrium tartalom esetén, míg Körös víz esetén összes szerves N, ortofoszfát-P, összes-N esetén nem-paraméteres, független mintás teszt (Non-Parametric, Independent Samples) alkalmazásával készült el az értékelés. A Körös és a nyers elfolyóvíz paramétereinek közti különbségek értékelése független mintás T-próbával (T-Test, Independent Samples) történt normalitás és szórássegélyezés megléte esetén (fajlagos elektromos vezetőképesség, hidrogén-karbonát, összes szerves N, klorid, szulfát kalcium, magnézium, nátrium, kálium). Amennyiben a T-próba feltételei nem teljesültek, nem-paraméteres, 2 független mintás tesztet (Non-Parametric, 2 Independent Samples) alkalmaztam (pH, m-lúgosság, ammónium-N, nitrát-N, összes szerves nitrogén, összes nitrogén, összes foszfor, nátrium%, SAR, Sze, HCO₃/Ca arány, effektív Ca+Mg koncentráció).

Öntözővíz minősítő rendszerek

Az öntözésre szánt vizek minősítését először a Filep György által javasolt osztályozási rendszer szerint végeztem el (Filep 1999), amely hazai és külföldi szakirodalom alapján javasolt határértékek (víz sókoncentrációja, Na% és SAR értéke) közötti összefüggések alapján készült el. A vizek öntözésre való alkalmasságát értékeltem valamennyi paraméter szerint, amelyekre a MI-10-172/9-1990 sz. műszaki irányelv egzakt határértékeket határozott meg (kivéve a vizek ásványi olaj tartalma, szulfid tartalma és összes

keményisége). Az irányelv paramétereiként, öntözésre való megfelelésük alapján megfelelő, tűrhető és nem megfelelő minősítést rendel az értékekhez. A 90/2008. (VII.18.) számú, a talajvédelmi terv készítésének részletes szabályairól szóló FVM rendelet 2. mellékletének 2. táblázata szerint meghatároztam a vizek öntözésre való felhasználhatóságát és mindegyiket besoroltam a rendeletben található tíz csoport valamelyikébe. Az Amerikai Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériuma (USDA) által kiadott, az USA Szikesedési Laboratóriumának munkatársai által írt, a szikes talajok kezeléséről és javításáról szóló kézikönyv ötödik fejezete az öntözővíz minőségének legfontosabb szempontjait tárgyalja (USDA Handbook 60), (Richards 1954). A rendszer alapján meghatározható az öntözésre való alkalmasság a víz sótartalmának és nátrium tartalmának értékelése alapján. Az Élelmiszerügyi és Mezőgazdasági Világszervezet (FAO) mezőgazdasági útmutatója (Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1) szerint szikesség, beszívárgásra ható tényezők, elem toxicitás és egyéb speciális hatások értékelését végeztem el az öntözővíz minőségének megítélése érdekében (Ayers és Westcot 1989).

EREDMÉNYEK

A Körös víz és az elfolyóvíz kémiai jellemzői

A Körös és az elfolyóvíz pH értéke nem különbözik szignifikánsan (sig. p=0,295). A pH értékek a kísérlet első két évének összes vízminta eredménye alapján a Körösnél 7,49-8,02 közt, az elfolyóvíznél 7,21-7,96 közt változtak. Ayers és Westcot (1989) szerint az öntözővíz normál pH értéke 6,5-8,4 közötti, melynek alapján mindkét víz a normál tartományon belül maradt (1. táblázat).

2. táblázat. A Körös víz és az elfolyóvíz minősége
Table 2. Water quality of the Körös water and the effluent water

	Körös víz (K)	Körös víz (K)		Elfolyóvíz (EV)	Elfolyóvíz (EV)	
	2015.	2016.		2015.	2016.	
Kémiai paraméterek	átlag±szórás	átlag±szórás	p-érték	átlag±szórás	átlag±szórás	p-érték
pH	7,6±0,08	7,55±0,04	N.S.	7,54±0,12	7,74±0,27	N.S.
Fajl.elektromos vez.kép. (EC) (µS/cm)	436,5±13,28	371,86±20,14	***	1317,50±9,57	1301,43±37,61	N.S.
m-lúgosság	2,95±0,06	3,00±0,12	N.S.	15,43±0,15	15,37±0,23	N.S.
Hidrogén-karbonát (mg/l)	179,5±3,54	182,67±7,34	N.S.	941,00±7,55	926,29±28,80	N.S.
Ammónium-N (mg/l)	0,35±0,34	0,37±0,22	N.S.	22,23±0,33	23,00±3,36	N.S.
Nitrát-N (mg/l)	0,20±0,09	0,43±0,23	N.S.	0,01±0,00	-	N.S.
Nitrit-N (mg/l)	0,03±0,02	0,06±0,06	N.S.	0,04±0,01	0,05±0,01	N.S.
Összes szerves N (mg/l)	0,67±0,45	0,64±0,11	N.S.	22,22±0,40	23,09±3,40	N.S.
Összes szervetlen N (mg/l)	0,36±0,23	-	-	9,31±1,01	5,94±2,47	N.S.
Összes N (mg/l)	1,03±0,67	1,19±0,09	N.S.	31,53±1,36	29,01±2,77	N.S.
Ortofoszfát-P (mg/l)	0,10±0,02	0,12±0,04	N.S.	1,56±0,47	1,63±0,35	N.S.
Összes P (mg/l)	0,17±0,03	0,15±0,04	N.S.	2,98±0,72	2,03±0,27	*
Klorid (mg/l)	-	22,54±1,59	N.S.	29,80±1,70	30,39±1,72	N.S.
Szulfát (mg/l)	35,83±2,14	34,58±3,20	N.S.	43,03±5,50	32,23±7,91	N.S.
Ca (mg/l)	39,37±2,70	39,04±0,73	N.S.	20,93±1,15	20,78±2,65	N.S.
Mg (mg/l)	9,82±0,81	9,80±0,56	N.S.	9,51±0,28	10,22±0,41	*
Na (mg/l)	41,78±3,19	28,90±4,01	**	278,25±39,43	274,43±7,23	N.S.
K (mg/l)	4,51±0,39	3,71±0,70	N.S.	5,83±0,62	6,22±0,75	N.S.

Megjegyzés: N.S. = nem szignifikáns; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

A Körös víz szignifikánsan alacsonyabb (sig. $p=0,000$) EC értékkel (fajlagos elektromos vezetőképesség) rendelkezik, mint az elfolyóvíz (2. táblázat). A különbség az elfolyóvíz rétegvíz eredetével magyarázható, a nagy oldott ásványi anyag tartalma okozza az EC magas értékét. A Körös víz EC értéke (és nátrium tartalma) alacsonyabb volt 2016-ban, ami magyarázható a 2016. évi csapadékos időszak miatt bekövetkező hígulás következményeként. 2015-ben május elejétől augusztus végéig összesen 166,2 mm, azonban ugyanebben az időszakban, 2016-ban 317,3 mm csapadék hullott.

Az elfolyóvíz hidrogén-karbonát (HCO_3^-) tartalma és m-lúgossága szignifikánsan magasabb (sig. $p=0,000$), mint a Körös vízben mért értékek (2. táblázat). Az m-lúgosság (a víz összes lúgossága vagy metilnarancs lúgossága) a vízben előforduló lúgosságot okozó összes vegyületet jelenti (hidroxidok, karbonátok, hidrogén karbonátok), (Bohn és társai 1985), azonban az általunk vizsgált vizek karbonát (CO_3^{2-}) iont nem tartalmaztak. Az elfolyóvíz HCO_3^- eredete geológiai okokkal magyarázható. A halnevelő telep kútjai a Békés-sík kistájon találhatóak, ahol a vizek kémiai jellege nátrium-hidrogén karbonátos (Marosi és Somogyi 2010). Darab (1969) szerint a terület talajvizeinek anion szerinti összetétele is hidrokarbonát jellegű (a szarvasi Öntözési és Rizstermesztési Kutató Intézet (ÖRKI) Bikazugi Gazdaságának területén végzett mérései alapján).

A vizek tápanyagtartalma a szerves nitrogén formák (nitrit, nitrát és ammónium), a szerves nitrogén, összes nitrogén, az összes foszfor és az ortofoszfát tartalom alapján értékelhető (2. táblázat). A fenti paraméterek közül csak a nitrit esetében nem volt szignifikáns különbség (sig. $p=0,926$) a két víz között, mindkét víztípus átlagos nitrit-N tartalma 0,4 mg/l. A nitrit és a nitrát mennyisége is alacsony a vizekben, ugyanakkora a nitrát szignifikánsan magasabb (sig. $p=0,002$) a Körös vízben, mint az elfolyóvízben. A Körös Bikazugi-holtág mezőgazdasági művelés alatt álló vízgyűjtő területtel rendelkezik és számos belvízelvezető csatorna (Malomzugi-csatorna, Dögösi-csatorna) vizét gyűjti össze, amellyel magyarázható a nitrát-tartalmának eredete. Az ammónium tartalom az elfolyóvízben magasabb (sig. $p=0,000$), mint a Körös vízben. A halnevelő telepről származó elfolyóvizek nitrogén és foszfortartalmának eredete az anyagcsere hulladék nitrogén és foszfortartalma, amely a metabolikus folyamatok eredménye (Lazzari és Baldisserotto 2008). A növények számára felvehető szerves nitrogén formák közül az ammónium mennyisége a legnagyobb az elfolyóvízben (2. táblázat). A szerves nitrogén mennyisége a Körös vízben 0,32-1,18 mg/l, míg az elfolyóvízben 18,3-27,7 mg/l között változott. Ezért feltételezésünk szerint az elfolyóvíz nitrogén tartalmának, kiöntözés esetén jelentős tápanyag-utánpótló hatása van. Emiatt azonban szennyezőanyagként is számon kell tartani (Ayers és Westcot 1989), mivel nitrát kimosódás fordulhat elő a talaj drén viszonyaitól és a csapadék mennyiségtől függően.

Az ortofoszfát és összes foszfor mennyisége szintén magasabb (sig $p=0,000$ mindkét paraméter esetén) az elfolyóvízben, mint a Körös vízben (2. táblázat), így öntözővízként való felhasználása során a magasabb tápanyagtartalma a növények növekedését segítheti elő. Az anionok közül a foszfor jól adszorbeálódik a talajokban, fontos növényi tápanyag, ezért sohasem válik a vízadagolás meghatározó tényezőjévé (Vermes 1977). A vizsgált vizekben a klorid tartalom szignifikánsan különbözik (sig. $p=0,000$). A Körös víz klorid tartalma 19,8-24,4 mg/l értékek között változott, az elfolyóvíz klorid koncentrációja magasabb (28,3-32,6 mg/l közötti) volt a vizsgált időszakban (2. táblázat). Bilderback és társai (2011) szerint a klorid ion 2 meq/l (70,9 mg/l) felett okozhat toxicitás problémát a növényeknél, csökkenti a víz felvehetőségét az ozmotikus potenciál növelésén keresztül, ezáltal a hervadás pontig is elvezethet. Egyik vizsgált víz klorid koncentrációja sem érte el ezt a határértéket. A két víz szulfát tartalma nem különbözik szignifikánsan (sig. $p=0,620$). Magas koncentráció (200 mg/l) esetén a kloridhoz hasonlóan az öntözőberendezés károsítását okozhatja (LaRue és Yonts 2011), azonban egyik víz sem éri el ezt a koncentrációt (2. táblázat).

A vizek közti kálium koncentráció különbség szignifikáns (sig. $p=0,000$). Mados (1940) szerint az öntözővíz minősítésekor a kationok közül a Ca, Na és Mg ionok meg-

határozása a legfontosabb, a káliumtól el lehet tekinteni. A kálium mennyiség 10 mg/l felett magas koncentrációnak tekinthető (Spectrum 2013), azonban a vizsgált vizek nem érik el ezt a szintet. A kalcium a növények számára szükséges tápelem és a talaj szerkezetének kedvező tulajdonságaiért felelős, ezért általában nem okozza a felhasználás korlátozását. A Körös víz kalcium tartalma (36,7-42,1 mg/l) szignifikánsan magasabb (sig. $p=0,000$) az elfolyóvíz kalcium koncentrációjánál (16,9-24,5 mg/l). A kalcium koncentrációja az öntözővízben 40 mg/l alatt nagyon alacsony, 41-80 mg/l közt alacsony koncentrációjú (Spectrum 2013). A Körös víz (8,95-10,7 mg/l) és az elfolyóvíz (9,28-10,50 mg/l) magnézium tartalma rendkívül szűk határok között változott, a két víz koncentrációja közt szignifikáns különbség nincs (sig. $p=0,703$). A Körös víz nátrium tartalma 24,7-44,6 mg/l, az elfolyóvíz nátrium tartalma 222-314 mg/l között változott a vizsgált időszakban. A kationok közül nátrium és a magnézium a legmeghatározóbb korlátozó tényező az öntözővíz minősítése során, amelyek értékelését származtatott paraméterek alapján végeztem el.

A Körös víz és az elfolyóvíz öntözővíz minősítését meghatározó paraméterei

A Körös és az elfolyóvíz valamennyi származtatott paramétere közt szignifikáns különbség van és a p-érték minden esetben $p=0,000$.

3. táblázat. A Körös és az elfolyóvíz öntözővíz minősítését meghatározó származtatott paraméterei
Table 3. The calculated irrigation water classification parameters of the Körös water and the effluent water

	Körös víz (K)	Körös víz (K)		Elfolyóvíz (EV)	Elfolyóvíz (EV)	
	2015.	2016.		2015.	2016.	
Származtatott paraméterek	átlag±szórás	átlag±szórás	p-érték	átlag±szórás	átlag±szórás	p-érték
Nátrium % ^a	37,34±1,63	30,5±2,6	**	85,51±2,9	85,33±1,42	N.S.
SAR ^b	1,5±0,08	1,07±0,14	***	12,7±2,02	11,9±1,4	N.S.
Szódaegyenérték ^c	0,46±0,55	0,32±0,2	N.S.	13,58±0,07	13,1±0,62	N.S.
Magnézium % ^d	29,4±2,37	29,27±1,12	N.S.	42,86±0,71	44,35±4,11	N.S.
Összes oldott só tartalom (mg/l) ^e	279,36±8,5	237,99±12,89	***	843,2±6,13	832,91±24,07	N.S.
HCO ₃ ⁻ /Ca arány (mg/l) ^f	1,66±0,36	1,58±0,11	N.S.	14,59±0,7	13,81±3,26	N.S.
Effektív Ca+Mg konc. ^g	1,96±0,19	1,99±0,06	N.S.	-2,01±0,06	-1,72±0,48	N.S.
Effektív Na% ^h	46,03±2,31	37,52±3,38	**	118,31±2,24	115,14±5,04	N.S.
Effektív SAR ⁱ	1,79±0,13	1,26±0,18	-	-	-	-

^a $Na\% = Na / (Ca + Mg + Na + K) * 100$

^b $SAR = Na / ((Ca + Mg) / 2) / 2$

^c Szódaegyenérték = $(HCO_3 + CO_3) - (Ca + Mg)$

^d $Mg\% = Mg / (Ca + Mg) * 100$

^e Összes oldott só tartalom (mg/l) = $EC\ (dS/m) * 640$

^f HCO₃/Ca arány

^g Effektív Ca+Mg konc. = $(Ca + Mg)_{mér} - 0,25 * (HCO_3 + CO_3)$

^h Effektív Na% = $Na / ((Ca + Mg + Na + K) - 0,25 * (HCO_3 + CO_3)) * 100$

ⁱ Effektív SAR = $Na / (((Ca + Mg) - 0,25 * (HCO_3 + CO_3)) / 2) / 2$

N.S.: nem szignifikáns

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

A Körös víz 2015-ben mért magasabb nátrium koncentráció és EC értékei miatt a származtatott paraméterek (SAR, Na%, összes oldott só tartalom, effektív Ca+Mg) esetében is megjelenik az évek közötti szignifikáns eltérés (3. táblázat). Az elfolyóvíz esetében olyan magas a hidrogén-karbonát koncentráció, hogy gyakorlatilag nincs hasznos Ca és Mg a vízben (3. táblázat), amely képes lenne

annak nátrium tartalmát ellensúlyozni. A Na%-ra vonatkozó javasolt határérték 40-45% (Darab 1969; Filep 1999), amelyet a Körös víz megközelít, míg az elfolyóvíz jóval meghaladja azt. A nátrium tartalom értékelésére szolgáló legelterjedtebb öntözővíz minősítési mutató a SAR érték. A Körös víz SAR értékénél egy nagyságrenddel nagyobb az elfolyóvíz kationjai alapján számolt nátrium ad-

szorpciós arány (3. táblázat). A vizsgált vizek szódaegyenértékében mutatkozó különbség ugyancsak az elfolyóvíz magas hidrogén-karbonát tartalmának köszönhető (3. táblázat). A hidrogén-karbonát tartalom alapján számítható a maradék nátrium-karbonát tartalom (Bohn és társai 1985), vagy más néven szódaegyenérték (sz_e) (Filep 1995). A mutatóval a bikarbonát-veszély jelezhető előre, az ilyen vizekből kicsapódó kalcium-karbonát csökkenti az oldott kalcium koncentrációját, növeli a SAR értéket és ezáltal a talaj kicserélhető nátrium tartalmát, javasolt értéke az öntözővízben $<1,25$ (Bohn és társai 1985; Filep 1999). Az elfolyóvízben mért szódaegyenérték a határérték több mint tízszerese. Minél nagyobb a HCO_3^-/Ca arány, annál kevesebb Ca-ion marad oldatban, csökken az effektív Ca^{2+} mennyisége (Filep 1999). Az effektív Ca+Mg koncentrációhoz hasonlóan, az elfolyóvízben nincs effektív Ca^{2+} koncentráció. A Mg% a magnézium-veszély kifejezésére szolgál, 50% alatt javasolt a víz öntözéses felhasználása (Filep 1995, Spectrum 2003, Al-Shammiri és társai 2005, Nnadi 2015). A javasolt határértéket nem éri el egyik vizsgált víz Mg% értéke sem.

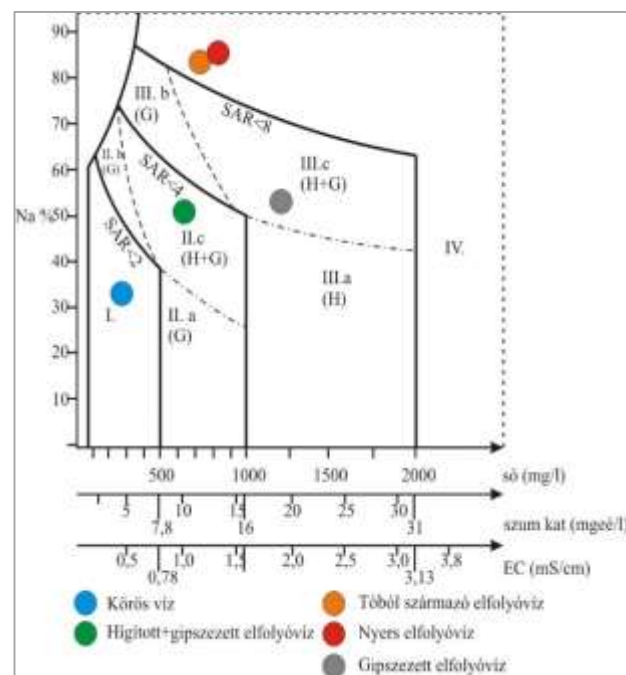
A Körös víz összes oldott sótartalma szignifikánsan különbözött a vizsgált évektől függően, az elfolyóvíz esetében a különböző években mért összes oldott sótartalomban nem volt különbség (3. táblázat). Filep (1999) szerint, ha a víz sókoncentrációja kisebb, mint 500 mg/l, általában bármelyik talajon alkalmazható a szikesedés kockázata nélkül. Jó szerkezetű vályog talajon vagy laza homoktalajon 800-1000 mg/l koncentrációjú víz alkalmazása is megengedhető, ha a talajvíz mélyen van, mivel ilyen területen a légköri csapadék kilúgozó hatása képes megakadályozni a sófelhalmozódást.

A kísérletben felhasznált Körös víz és az elfolyóvíz öntözővízként való minősítése

A Körös víz Filep osztályozási rendszere szerint (Filep 1999) a „kifogástalan” vízminőségű csoportba (I.), azon belül a „jó minőségű öntözővíz” (I.a.) kategóriába tartozik (1. ábra), mivel összes oldott sótartalma nem haladja meg az 500 mg/l határértéket. A SAR értéke nagyobb, mint 1, ezért a „kiváló minőségű öntözővíz” kategóriába nem kerülhetett. Az ilyen típusú öntözővizek valamennyi talajon feltétel nélkül használhatóak. A nyers elfolyóvíz az „öntözésre nem használható és nem javítható” víz csoportjába (IV.) került ugyanebben a minősítő rendszerben. Az EC értéke alapján a II. („csak egyes talajok öntözésére alkalmas, de javítás után minden esetben használható öntözővizek”) illetve III. („javítás után is csak egyes talajok öntözésére használható”) csoportokba is kerülhetett volna, azonban a nátriumsúlyszázalék magas értéke miatt (87%) öntözésre nem alkalmas minősítést kapott.

A 90/2008. (VII.18.) FVM rendelet szerint a Körös víz az 1.a. „minden esetben használható” csoportba tartozik. Kationok szerint kalciumos-nátriumos, anionok szerint karbonát-hidrogén-karbonátos összetételű. A csoport kritériumai a vízminőségre vonatkozva: összes lúgosság és összes anion hányadosa nagyobb, mint 0,5 (m-lúgosság/szum.anion=0,66), a fajlagos elektromos vezetőképessége $<0,625$ mS/cm, SAR értéke kisebb, mint 1,5. A Körös víz valamennyinek megfelel (2. és 3. táblázat). A nyers elfolyóvíz a 90/2008. (VII.18.) FVM rendelet szerint az g_2 .

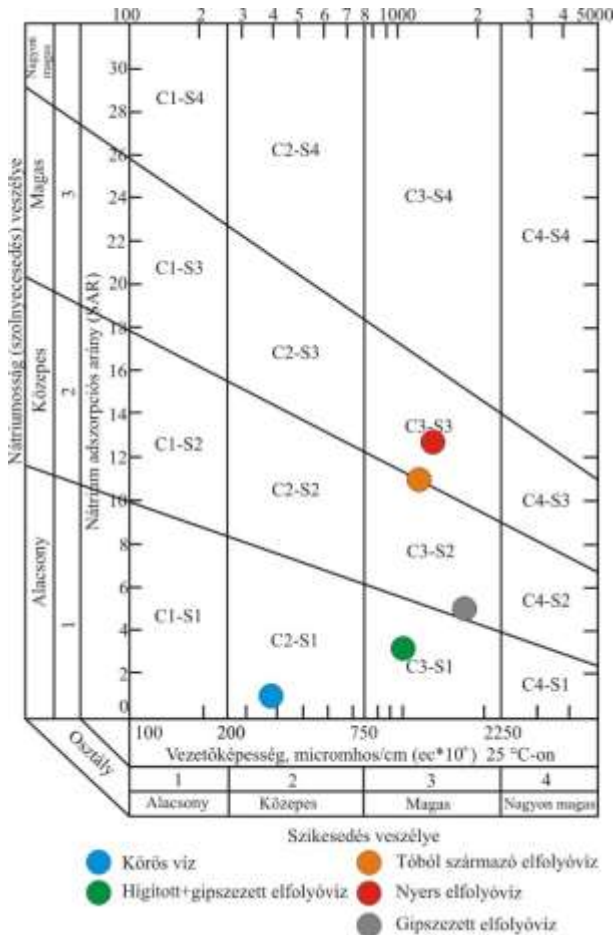
„szikes talajok esetén feltételesen használható, ha talajjavítást nem végeznek” (utolsóként leírt) csoportba tartozik. Kationok szerint nátriumos, anionok szerint karbonát-hidrogénkarbonátos összetételű. A csoport kritériumai a vízminőségre vonatkozva: összes lúgosság és összes anion hányadosa nagyobb, mint 0,5 (m-lúgosság/szum.anion=0,905), SAR értéke $> 10,7$, a fajlagos elektromos vezetőképesség határérték ebben a csoportban nincs definiálva.



1. ábra. A kísérletben felhasznált öntözővizek osztályozása Filep (1999) minősítő rendszere szerint

Figure 1. Classification of the applied irrigation waters according to Filep (1999)

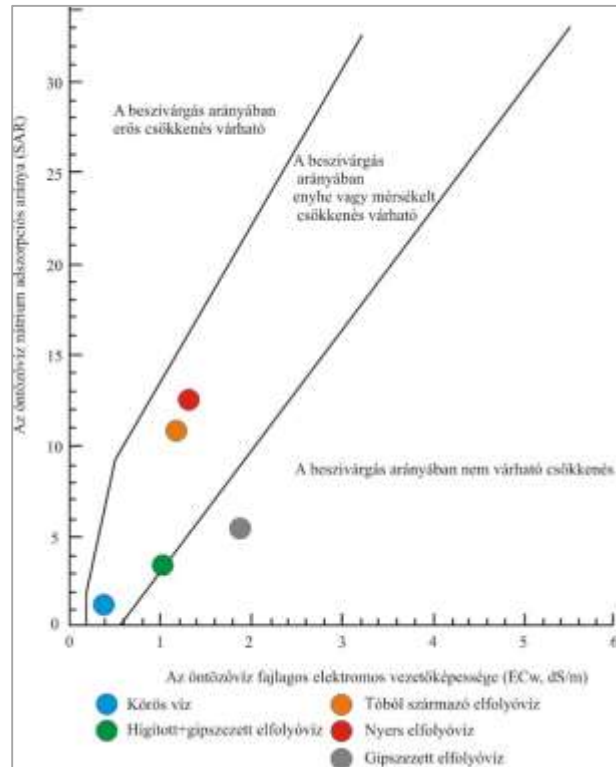
Az USDA öntözővíz minősítése szerint (Richards 1954), a Körös víz a „C2-S1 csoportba” tartozik (2. ábra). A C2 típusú víz közepes sótartalmú víz, amely akkor használható fel öntözésre, ha mérsékelt kilúgozás előfordul, mérsékeltén sótűrő növények öntözhetőek vele, különleges kezelés nélkül. Az S1 típusú víz alacsony nátrium tartalmú víz, a kicserélhető nátrium tartalom felhalmozódásának kis veszélyével, majdnem az összes talajon felhasználható öntözésre. A fentiek szerint a Körös víz majdnem a legjobb vízminőség kategóriába tartozik, azonban a minősítés az öntözendő talaj megfelelő drénviszonyait irányozza elő. Az amerikai minősítő rendszer szerint a nyers elfolyóvíz a „C3-S3 csoportba” tartozik. A C3 típusú víz magas sótartalmú víz és nem használható olyan talajokon, amelyek rossz drénviszonyokkal rendelkeznek. Sótűrő növények öntözhetőek vele. A S3 típusú víz magas nátrium tartalmú víz, a kicserélhető Na káros szintre emelkedhet, ezért speciális talajkezelést igényel az ilyen minőségű víz használata. A talajnak jó drénviszonyokkal kell rendelkeznie és megfelelő kilúgozás megléte szükséges. Szerves anyag hozzáadását igényelheti, vagy kémiai javítóanyagok lehetnek szükségesek a kicserélhető Na helyettesítésére. Gipszben gazdag talajokban a kicserélhető Na kevésbé emelkedik káros szintre az ilyen típusú vizek felhasználása során (Richards 1954).



2. ábra. A kísérletben felhasznált öntözővizek osztályozása USDA minősítő rendszere szerint (Richards 1954)
Figure 2. Classification of the applied irrigation waters according to USDA)

A FAO vízminősítése alapján (Ayers és Westcot 1989), a Körös víz felhasználása nem korlátozott az alacsony fajlagos elektromos vezetőképesség értéke ($EC < 0,7$ dS/m) és az összes oldott anyag tartalma ($TDS < 450$ mg/l) miatt. A nyers elfolyóvíz a víz szikessége szerint, enyhe/mérsékelt korlátozások mellett felhasználható ($EC: 0,7-3$ dS/m, $TDS 450-2000$ mg/l). A beszivárgás értékelése alapján a Körös víz és a nyers elfolyóvíz is azonos kategóriába került: a talaj beszivárgása csökkenhet az öntözés hatására (3. ábra). Habár mindkét mutató (EC és SAR) eltérő értékű a vizsgált vizek esetében, mégis ugyanabba a kategóriába kerültek, ami azzal magyarázható, hogy az öntözővíz növekvő EC értékével a beszivárgás aránya (talajba jutó víz mennyisége) növekszik, ugyanakkor az EC csökkenése esetén vagy a víz relatív nátrium tartalmának (SAR érték) növekedésekor a beszivárgás aránya csökken (Ayers és Westcot 1989). Elem toxicitás vizsgálatához a nátrium és klorid koncentráció értékelését végeztem el először. Nátrium tartalom alapján a Körös víz az esőtető öntözésre és felszíni öntözésre vonatkozó határértékeknek ($Na < 3$ mgeé/l (69 mg/l), és $SAR < 3$) is megfelel, ezért korlátozás nélkül alkalmas öntözésre. A nyers elfolyóvíz felszíni öntözésre csak szigorú korlátozások mellett használható fel a nátriumra vonatkozó határérték alapján ($SAR > 9$). Az esőtető öntözés esetén mérsékelt korlátozások mellett felhasználható ($Na > 3$ mgeé/l (69 mg/l)). A kloridra vonat-

kozó határérték koncentrációk alapján mindkét víz alkalmas felszíni ($Cl < 4$ mgeé/l (141,8 mg/l)) és esőtető öntözésre ($Cl < 3$ mgeé/l (106,35 mg/l)) is.



3. ábra. A kísérletben felhasznált öntözővizek osztályozása beszivárgásra gyakorolt hatásuk alapján, a FAO minősítő rendszere szerint (Ayers és Westcot 1989)
Figure 3. Classification of the applied irrigation waters according to the infiltration rate in FAO irrigation water quality system (Ayers és Westcot 1989)

Egyéb hatások értékeléséhez a víz nitrogén tartalmát nitrát formában, hidrogén-karbonát koncentrációját és pH értékét kell megvizsgálni a minősítő rendszer szerint. A nitrát-N koncentráció szerint mindkét víz korlátozás nélkül alkalmas öntözésre, mivel a koncentrációjuk kisebb, mint 5 mg/l. A hidrogén-karbonát koncentráció szerint a Körös víz enyhe/mérsékelt korlátozások mellett felhasználható kategóriába ($HCO_3^- 5-30$ mgeé/l (91,5-518,6 mg/l)) tartozik, az elfolyóvíz meghaladja a kategória felső határértékét, így szigorú korlátozásokkal alkalmas öntözésre. Az elfolyóvíz és a Körös víz pH értéke is a normál kategóriába (6,5-8,4) esik.

A kezelt elfolyóvíz módosult kémiai jellemzői és az öntözővíz minősítését meghatározó paraméterei

A fentiek szerint az elfolyóvíz számos paramétere alapján nem vagy csak korlátozottan javasolt öntözésre. A vízminőség javítása érdekében a nyers elfolyóvíz három különböző kezelt formában került felhasználásra a kísérlet során. A vízkezelés első formája a legkevésbé változtatta meg a víz kémiai összetételét az öntözés szempontjából. A halnevelő telepről származó elfolyóvíz közvetlen befogadja egy létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer. Tóth és társai (2016) szerint a négytavas rendszer egy éves tápanyag eltávolításáról elmondható, hogy 3441 kg (55,37%) nitrogénnel, 382 kg (49,27%) foszforral és 16875 kg

(92,35%) lebegőanyaggal csökkentette a természetes beforduló terhelését. A rendszer első, stabilizációs (ülepítő) távának vizét használtuk fel öntözésre, amely összetételében még alig különbözött a nyers elfolyóvíztől (4. táblázat). Az elfolyóvíz másik két különböző formáját hígítás és/vagy javítóanyag hozzáadásával hoztam létre. Arany (1955) szerint a szikes víz, ha kis szilárd maradékú esetenként javítással alkalmassá tehető öntözésre. Filep (1999) szerint a lúgosan hidrolizáló Na-sókat (Na_2CO_3 -ot és/vagy NaHCO_3 -ot) tartalmazó szikes vizek kémiai javítása kalciumot tartalmazó javítóanyag hozzáadásával történhet. A javítóanyag szükséglet számításához az alábbi egyenletet használtam fel (Filep 2010):

$$x = S_{z_e} * E \quad (1)$$

ahol x = a javítóanyag mennyisége (mg/l vagy g/m^3), S_{z_e} = szódaegyenérték, E = a javítóanyag egyenérték tömege (gipsz esetén $86,1 \text{ g}$). A javítóanyag szükséglet számítását az első esetben a nyers elfolyóvíz (1:3 arányban) Körös vízzel történő hígítása után végeztem el. A hígítás célja a víz összes oldott sótartalmának csökkentése a maximálisan javasolt 500 mg/l körüli határérték szintjére, míg a hozzáadott gipsz javítóanyag célja a nátrium százalék csökkentése volt. Számításaim szerint a Körös vízzel hígított elfolyóvíz esetében a gipsz javítóanyag szükséglet 312 mg/l volt. Második esetben a javítóanyag hozzáadása előtt nem alkalmaztam víz hígítást, csak a káros nátriumsók hatásának csökkentése érdekében a javítóanyag hozzáadását végeztem el. Így a nyers elfolyóvíz esetében a gipsz javítóanyag szükséglet 1196 mg/l -nek adódott. Mindkét javítóanyag szükséglet a gipsz oldhatóságának határa (2 g/l) alatt volt.

A három különböző módon kezelt elfolyóvíz pH értékei, magnézium és klorid tartalma közti különbségek elhanyagolhatóak voltak (4. táblázat), mivel azok a két eredeti vízben is hasonló értékekkel rendelkeztek. A vizek fajlagos elektromos vezetőképessége megemelkedett a nyers elfolyóvíz és a hígított elfolyóvíz gipszrel történő javítása után, a kalcium és szulfát koncentrációk növekedése miatt, ami értelemszerűen a gipsz hozzáadásának köszönhető. Csökkent a fajlagos elektromos vezetőképesség a hígított+gipszezett elfolyóvízben a Körös hígító hatásának érvényesülése miatt.

A kezelt elfolyóvíz öntözővízként való minősítése

Filep (1999) kategória rendszere szerint a tóból származó elfolyóvíz ugyanabba a kategóriába került, mint a nyers elfolyóvíz (IV. „öntözésre nem használható és nem javítható”). A hígított+gipszezett elfolyóvíz a II.c csoportba került, amely szerint „nem szikes talajok öntözésére csak hígítás és/vagy kémiai javítás után alkalmas”. A gipszezett elfolyóvíz a III.c. csoportba került: „javítás után is csak egyes talajok öntözésére alkalmas”. A MI-10-172/9-1990 sz. műszaki irányelv szerint a tóból származó elfolyóvíz nem megfelelő minőségű víz öntözésre. A hígított+gipszezett EC, összes oldott anyag és összes foszfor tartalma alapján tűrhető kategóriába esik és nem megfelelő öntözésre $\text{Na}\%$ és HCO_3^- tartalma alapján. A gipszezett elfolyóvíznek tűrhető a vízminősége az összes foszfor tartalma és a SAR értéke alapján és nem megfelelő a vízminősége EC, összes oldott anyag, hidrogén-karbonát, szul-

fát tartalma és $\text{Na}\%$ értéke alapján. A műszaki irányelv határértékei szerint kizárólag a Körös víz használható fel öntözésre minden paramétere alapján. A 90/2008. (VII.18.) FVM rendelet szerint a tóból származó elfolyóvíz azonos csoportba került a nyers elfolyóvízzel (g_2 : „szikes talajok esetén feltételeesen használható, ha talajjavítást nem végeznek”). A hígított+gipszezett elfolyóvíz és a gipszezett elfolyóvíz a vízjavítás ellenére az g_1 : „szikes talajon használható, ha talajjavítást nem végeznek” csoportba került. A rendelet szerint tehát nyers elfolyóvíz, a tóból származó elfolyóvíz és a gipszezett elfolyóvíz is a g_1 kategóriába került.

4. táblázat. A kezelt elfolyóvizek jellemzői
Table 4. Chemical characteristics of the treated effluent waters

Kémiai paraméterek	Ülepítő tóból származó elfolyóvíz	Gipszezett elfolyóvíz	Hígított +gipszezett elfolyóvíz
	átlag±szórás	átlag±szórás	átlag±szórás
pH	7,77±0,12	7,71±0,12	7,70±0,15
Fajl.elektromos vez.kép. ($\mu\text{S/cm}$)	1180,00±125,30	1905,00±125,30	1033,75±208,33
m-lúgosság	13,77±1,70	14,65±1,70	8,23±0,98
Hidrogén-karbonát (mg/l)	838,67±103,32	894,00±103,32	502,00±59,51
Ammónium-N (mg/l)	20,40±4,16	23,45±4,16	10,39±1,39
Nitrát-N (mg/l)	0,03±	-	0,47±
Nitrit-N (mg/l)	0,02±0,00	0,13±0,00	0,13±0,15
Összes szervetlen N (mg/l)	20,45±4,15	23,58±4,15	10,60±1,44
Összes szerves N (mg/l)	5,86±3,52	4,98±3,52	2,51±1,70
Összes N (mg/l)	26,30±3,04	28,55±3,04	13,10±2,53
Ortofoszfát-P (mg/l)	1,72±0,12	2,55±0,12	1,38±0,61
Összes P (mg/l)	2,18±0,13	2,67±0,13	1,53±0,68
Klorid (mg/l)	29,90±0,50	33,15±0,50	27,15±2,22
Szulfát (mg/l)	32,65±2,19	448,75±2,19	164,18±103,00
Ca (mg/l)	23,23±1,35	187,50±1,35	90,83±31,11
Mg (mg/l)	10,08±0,86	11,02±0,86	10,69±1,05
Na (mg/l)	249,00±47,16	266,75±47,16	131,25±12,84
K (mg/l)	6,08±0,75	6,61±0,75	5,43±0,35
Származtatott paraméterek	átlag±szórás	átlag±szórás	átlag±szórás
Nátrium % ^a	83,14±1,93	53,26±3,67	51,4±2,8
SAR ^b	10,91±1,41	5,25±0,47	3,53±0,16
Szódaegyenérték ^c	11,76±1,04	4,4±1,54	2,82±0,51
Magnézium % ^d	41,69±0,88	9,31±1,19	17,16±2,07
Összes oldott só-tartalom (mg/l) ^e	755,2±46,3	1219,2±59,44	661,6±66,66
HCO_3^-/Ca arány (mge/l) ^f	11,95±1,24	1,69±0,29	1,94±0,27
Effektív Ca+Mg konc. ^g	-1,45±0,31	6,59±1,46	3,35±0,7
Effektív Na% ^h	113,22±2,21	64,26±5,33	63,21±4,2
Effektív SAR ⁱ	-	6,85±1,02	4,6±0,38

$$^a \text{Na \%} = \text{Na} / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}) * 100$$

$$^b \text{SAR} = \text{Na} / ((\text{Ca} + \text{Mg}) / 2)^{1/2}$$

$$^c \text{Szódaegyenérték} = (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) / (\text{Ca} + \text{Mg})$$

$$^d \text{Mg \%} = \text{Mg} / (\text{Ca} + \text{Mg}) * 100$$

$$^e \text{Összes oldott só tartalom (mg/l)} = \text{EC (ds/m)} * 640$$

$$^f \text{HCO}_3^- / \text{Ca arány}$$

$$^g \text{Effektív Ca+Mg konc.} = (\text{Ca} + \text{Mg})_{\text{mért}} - 0,25 * (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$$

$$^h \text{Effektív Na \%} = \text{Na} / ((\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}) - 0,25 * (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})) * 100$$

$$^i \text{Effektív SAR} = \text{Na} / (((\text{Ca} + \text{Mg}) - 0,25 * (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})) / 2)^{1/2}$$

N.S.: nem szignifikáns

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Az USDA öntözővíz minősítése szerint az ülepítő tóból származó elfolyóvíz a C3-S3 és a C3-S2 csoportok határán helyezkedik el. Ez a víz jó vízáteresztő-képességű durva textúrájú talajon vagy szerves talajon használható az útmutató szerint. Ugyanebbe a kategóriába (C3-S2) tartozik a gipszesített elfolyóvíz is (2. ábra). Ez a kategória határos a legalacsonyabb nátriumtartalmú kategóriával (C3-S1), ahol a hígított+gipszesített elfolyóvíz található. Az S1 csoportban alacsony nátrium tartalmú vizek tartoznak, majdnem az összes talajon használhatóak a kicserélhető nátrium tartalom felhalmozódásának kis veszélyével. Nátrium tartalom szempontjából tehát a Körössel azonos S1 csoportba került a hígított+javított víz. Valamennyi elfolyóvizet tartalmazó öntözővíz a C3 csoportba került az EC értékeik miatt, a különbség köztük csak nátrium mennyiségéből adódik az USDA minősítése alapján. A FAO vízminősítése alapján, a tóból származó elfolyóvíz minden paraméterére nézve igazak a nyers elfolyóvízre vonatkozó megállapítások. A hígított+gipszesített elfolyóvíz az EC és összes oldott só tartalma alapján enyhe/mérsékelt korlátozások mellett alkalmas öntözésre. Nátrium tartalom alapján felhasználható öntözésre, mérsékelt korlátozások mellett. A klorid és nitrát tartalma nem befolyásolja az alkalmazhatóságát. Hidrogén-karbonát tartalma alacsonyabb lett, így az elfolyóvíznél kedvezőbb kategóriába került. A gipszesített elfolyóvíz szikessége alapján enyhe/mérsékelt korlátozások mellett felhasználható. A gipsz miatt megnövekedett EC értéke következtében a beszivárgásban nem várható csökkenés az öntözése mellett. A vizsgált vizek közül egyedül tartozik bele ebbe a csoportba. Nátrium és HCO_3^- tartalma alapján a nyers elfolyóvízhez hasonlóan szigorú korlátozások mellett használható fel.

ÖSSZEFOGLALÁS

A napjainkban jelentkező vízhiány miatt az alternatív vízforrások jelentősége felértékelődik. Jelenleg az ország egyik legnagyobb kiaknázatlan vízkészlete a rétegvíz eredetű szennyvizek (48 millió m^3). Közös jellemzőjük a magas összes oldott só tartalom, amely gyakran a nátrium magas koncentrációjával társul. Jelenleg ezeket a vizeket a kibocsátási pont közelében fekvő felszíni víztestbe vezetik, azonban a magas ásványi anyag tartalom miatt terhelést okoz a vízi ökoszisztémára és a befogadók környezetére. Szintén felhasználás nélkül kerülnek a felszíni víztestekbe a halastavakból és az élelmiszer-, ill. feldolgozóiparból származó elfolyóvizek, hulladékvizek, szennyvizek.

A tanulmányban két különböző eredetű víz öntözővíz minősítését tűztém ki célul. Az egyik a Hármas-Körös Bikazugi-holtágából (Szarvas) származik, és kiváló minőséggel rendelkezik az öntözés szempontjából. A másik egy intenzív afrikai harcsanevelő telep elfolyóvize. A halne-

velő telep rétegvíz eredetű vizet használ fel a tevékenységéhez, ami magas összes oldott só tartalommal, hidrogén-karbonát és nátrium tartalommal rendelkezik, ezért öntözéses hasznosítása esetén a másodlagos szikesedés veszélyének teszi ki a talajt. Ennek elkerülése érdekében, az eredeti és a különböző módon kezelt elfolyóvizek vízminőségének vizsgálata során az elsődleges cél az öntözéses felhasználásra való alkalmasság megítélése volt.

Az amerikai öntözővíz minősítő rendszer 22.000 víz-minta vízminőségének vizsgálta alapján készítette el az öntözővizek osztályozását, amelyet átlagos: talaj textúra, beszivárgási feltételek, vízvezető-képesség, öntözővíz mennyiség, klíma feltételekre dolgoztak ki. Minden vízminőség osztály leírásánál utal a talajfeltételekre (főként a beszivárgási tényezőre), amelyek mellett a víz alkalmazása javasolt vagy elővigyázatosságot követel, így a rendszer sokrétű és széleskörűen alkalmazható. A FAO öntözővíz minőség útmutató sokrétű céllal készült, gyakorlati felhasználásra a gazdálkodók részére és tervezéshez a mérnökök számára egyaránt. A világ különböző részéről (elsősorban arid és semi-arid területekről) összegyűjtött adatok alapján építették fel, hogy általánosan alkalmazható legyen. A két nemzetközileg elismert osztályozással szemben a hazai rendszer a helyi adottságokhoz illeszkedik és a vizek öntözésre való alkalmasságát (só és nátrium tartalom) szűkebb határok közt szabja meg.

Két éves adatsor elemzése alapján, a vizsgált vizek az alábbi tulajdonságokkal rendelkeztek:

- A Körös víz relatív nátrium tartalma miatt, a SAR értéke nagyobb, mint 1, ezért a kiváló öntözővíz minőség helyett a „jó vízminőségű” kategóriába sorolható a hazai osztályozás szerint. Öntözésre kifogástalanul alkalmas. Az USDA vízminőség rendszere szerint közepes só tartalmú és alacsony nátrium tartalmú víz. A FAO vízminősítése szerint, a só koncentráció értékéhez tartozó SAR érték magas, ezért az öntözött talajon beszivárgási problémák előfordulhatnak alkalmazása során.
- Az elfolyóvíz öntözésre „nem használható és nem javítható” Filep (1999) osztályozása szerint. Azonban az eredeti elfolyóvíz és a Körös víz, valamint a kémiai javítóanyag együttes alkalmazásával javítható az elfolyóvíz öntözővíz minősége. Az USDA minősítése szerint, ha az öntözendő talaj megfelelő drénviszonyokkal rendelkezik és talajjavító anyagokat, ill. megfelelő talajművelést alkalmaznak, akkor a víz felhasználható öntözésre. A FAO öntözővíz minősítése szerint mérsékelt korlátozások mellett felhasználható öntözésre só tartalma alapján, nátrium tartalma szerint esőztető öntözésre alkalmasabb, mint felszíni öntözési módra, beszivárgásra gyakorolt hatása megegyezik a Körös víznél vártakkal.
- A gipszesített öntözővíz magasabb összes oldott só tartalommal rendelkezik, mint a nyers elfolyóvíz, azonban alacsonyabb a SAR értéke, nátriumszázalék értéke és a szódaegyenértéke. A magyar osztályozások szerint nem kerülhetett kedvezőbb öntözővíz minősítésbe, mint az eredeti elfolyóvíz a hidrogén-karbonát tartalma miatt. A megváltozott kémiai mutatók alapján

a FAO minősítése szerint az öntözéses alkalmazása során nem csökkenti a talaj beszivárgását. Az USDA vízminőség osztályozása szerint egy kategóriával jobb besorolást kapott, mint az eredeti elfolyóvíz, ami az alacsonyabb SAR értékének köszönhető.

- A hígított+gipszezett elfolyóvíz az alkalmazott javítással is csak a „nem szikes talajok öntözésére csak hígítás és/vagy kémiai javítás után alkalmas” kategóriába kerülhetett Filep (1999) osztályozása szerint. Az USDA osztályozása szerint a vizsgált vizek közül ez tekinthető a legalkalmasabbnak öntözésre. A FAO osztályozása szerint, valamennyi tulajdonsága alapján, enyhe vagy mérsékelt fokú korlátozások mellett felhasználható öntözésre.

Az öntözéses felhasználásról való megalapozott döntéshez a vizek egyéb jellemzőinek vizsgálata is fontos a jövőben (pl. nehézfém tartalom, bakteriológiai vizsgálatok, eltömődés veszély stb.). A megfelelő öntözővíz minőség kiválasztásánál további fontos szempont a természeti kívánt növény sótűrő-képessége is. Más megközelítésben előfordulhat, hogy a cél a növény kiválasztása a rendelkezésre álló öntözővíz minőséghez. Jesus és társai (2015) szerint a halofita növények vagy rizs vetésforgóba illesztésével (amit valamilyen gazdaságosan termesztendő növény követ), a másodlagos szikesedés megelőzhető vagy mérsékelhető.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a „Mezőgazdasági eredetű szennyvizek öntözéses hasznosítása fás szárú ültetvényeken” c. Földművelésügyi Minisztérium által finanszírozott OD001 sz. projekt támogatja. A kísérletek beállításáért, fenntartásáért, illetve az analitikai vizsgálatok elvégzéséért külön köszönet a NAIK ÖVKI munkatársainak. Az országos szennyvízki-bocsátásra vonatkozó adatokért köszönet illeti az Országos Vízügyi Főigazgatóságot.

IRODALOM

Albert I. (1997). Az öntözés jogi szabályozása és az öntözővíz minőségi feltételei. *Gyak. Agróf.*, 8(1), 9-10.

Al-Shammiri, M., A. Al-Saffar, S. Bohamad, M. Ahmed (2005). Waste water quality and reuse in irrigation in Kuwait using microfiltration technology in treatment. *Desal.*, 185, 213-225.

Arany S. (1955). Öntözővizek a tiszalöki öntözőrendszerben. *Agrók. és Talajt.* 1(2), 97-118.

Ayers, R.S., D. W. Westcot (1989). Water quality for agriculture. FAO. Rome.

Bilderback, T.E., J. Dole, R. E. Sneed. (2011). Greenhouse and nursery irrigation practices. In: Irrigation. Stetson L., Mecham B (ed), Irrigation Association, Falls Church, pp. 808-850.

Bohn, H.L., B. L. Mcneal, G. A. O'Connor (1985). Talajkémia. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

Darab K., Ferencz K. (1969). Az öntözött területek talajterképezése. Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet. Budapest.

Dzubay M. (1957). Vízvizsgálatok a tiszántúli talajok másodlagos elszikesedésével kapcsolatban. Öntöző és csurgalékvizek kémiai összetétele. *Hidrológiai Közlemény*

37.(2), 109-111.

FAO *Statistical Yearbook 2013* (2013). World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p. 289. <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>

Filep Gy. (1995). Talajtan alapismeretek. Debreceni Agrártudományi Egyetem. Debrecen.

Filep Gy. (1999). Az öntözővizek minősége és minősítése. *Agrokémia és Talajtan* 48, (1-2), 49-65.

Filep Gy. (2010). Az öntözés talajtani vonatkozásai. In: *Talajtan*. Stefanovits és társai (ed.), Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Fitzhugh, W., B. D. Richter (2004). Quenching urban thirst: growing cities and their impacts on freshwater ecosystems. *Bioscience*. 54 (8), 741-754.

Francés G.E., P. Quevauviller, E. S. M. González, E. V. Amelin (2017). Climate change policy and water resources in the EU and Spain. A closer look into the Water Framework Directive. *Env. Sci. and Pol.* 69. 1-12.

Hussain, I., L. Raschid, M. A. Hanjra, F. Marikar, W. van der Hoek. (2002). Wastewater Use in Agriculture: Review of Impacts and Methodological Issues in Valuing Impacts: with an Extended List of Bibliographical References. International Water Management Institute.

Elérhető:

http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Working_Papers/working/WOR37.pdf

IPCC (1996). *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. Elérhető: <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>

Jesus, J. (2015). Phytoremediation of salt-affected soils: a review of processes, applicability, and the impact of climate change. *Environmental Science and Pollution Research* 22. (9), 6511-6525.

LaRue J., Yonts C. (2011). Irrigation water supply. In: *Irrigation*. Stetson L., Mecham B (ed), Irrigation Association, Falls Church, p.9-12.

Lazzari R., Baldisserotto B. (2008). Nitrogen and phosphorus waste in fish farming. *B. Inst. de Pesca*. 34. (4), 591-600.

Mados L. (1940): Öntözővizek vizsgálata és minősítése, *Mezőg. kut.* 13, p.121-131.

Malash N., T.J. Flowers, R. Ragab (2005). Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production. *Agric. Water Man.*, 78, 25-38.

Marosi S., Somogyi S. (2010). Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet.

Nnadi, E.O., A. P. Newman, J. S. Coupe, F. Mbanaso (2015). Stormwater harvesting for irrigation purposes: An investigation of chemical quality of water recycled in pervious pavement system. *Journ. of Env. Man.*, 147, 246-256.

Purves, D. (1977). Waste materials deliberately added to the soil. In: *Trace-element contamination of the environment*, Purves (ed), Elsevier Scientific Publishing

Company. p.93.

Richards, L.A. (szerk.) (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*

Simmons, R., M. Quadir, P. Drechsel (2010). Farm-based measures for reducing human and environmental health risks from chemical constituents in wastewater. In: *Wastewater irrigation and health*. Drechsel és társai (ed.) *Assessing and mitigating risk in low-income countries*, Earthscan, London, pp. 209-238.

Spectrum Analytical Incorporated, USA (2013). *Guide to Interpreting Irrigation Water Analysis* [online]. http://ac.els-cdn.com/S0301479714004344/1-s2.0S0301479714004344-main.pdf?_tid=c29a3bf2-3f7e-11e7-91b9-0000aacb360&acdnat=1495520112_ac848b22bb7d883b63eec8a20e0433f9

Tóth F., Kerepeczki É., Berzi N. L., Gál D. (2016). Létesített vizes élőhelyek hasznosítása az intenzív haltermelés elfolyóvizének kezelésében. *Kutatói utánpótlást elősegítő program I. szakmai konferenciája*. Gödöllő, NAIK kiadása

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2013). *World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP.228. Available at https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2012_HIGHLIGHTS.pdf

Vermes L. (1977). *Vízminőségi jellemzők és határértékek*. In: *Faültetvények szerepe a szennyvizek elhelyezésében és hasznosításában*, Gál és társai (ed.), *Vízügyi Gazdasági Tájékoztató*, 87.szám, Budapest.

Vermes L. (2017). *Vízgazdálkodásunk mostoha gyermeke – a szennyvízöntözés*. *Hidrológiai Közlöny* 97. évf. 1. sz. 66-75.

Winpenny J.T., I. Heinz, S. Koo-Oshima (2010). *The Wealth of Waste: The Economics of Wastewater Use in Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at <http://www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf>

A SZERZŐ



KUN ÁGNES 2011-ben végzett okleveles geográfusként (MSc) a Szegedi Tudományegyetemen. A szarvasi székhelyű Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Öntözési és Vízgazdálkodási Önálló Kutatási Osztályán (NAIK ÖVKI) dolgozik tudományos segédmunkatársként. Végzős doktorandusz hallgató az SZTE Földtudományok Doktori Iskolájában, ahol kutatási témája a mezőgazdasági eredetű szennyvizek öntözéses hasznosítása során bekövetkező talajtani hatások vizsgálata.

Adatok a szikes tavaink nitrogénforgalmában feltételezhetően szerepet játszó planktonikus baktériumok megismeréséhez

Csitári Bianka*, Szabó Attila*, Bedics Anna*, Becker Barbara*, Korponai Kristóf*, Boros Emil**, Vörös Lajos**, Somogyi Boglárka**, Felföldi Tamás*

*Eötvös Loránd Tudományegyetem, Mikrobiológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.;

**MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, 8237 Tihany, Klebelsberg Kuno út 3.

Kivonat

A Föld minden kontinensén fellelhetők sós tavak, azonban hazánk szikes tavai nagymértékben különböznek ezektől vízkémiai jellemzőik és anyagforgalmuk tekintetében. A hazai szikes vizekben lévő N-formák mennyisége és részletes szezonális változása nem kellően ismert. Az előzetes mérések adatai azt mutatják, hogy az összes nitrogén koncentrációja igen magas értéket (akár 5-35 mg/L) is felvehet. A szikes tavak nemzetközi jelentőségű vonuló- és pihenőhelyei számos madárfajnak, amelyek jelenlétükkel befolyásolják a nitrogénforgalmat. A Zab-szék és Sós-ér piroszekvenálási eredményei alapján vizeikben számottevő mértékben fordulnak elő denitrifikáló és szerves nitrogént hasznosító szervezetek is, mint a *Methylothermobacter* és a *Nitrospirillum*, ez utóbbi a teljes baktériumközösség 7,4%-át is kiteheti. Köszönhetően részben a vizek nagy nátrium koncentrációjának a kemolitotróf nitrifikáló baktériumok relatív mennyisége csekély, azonban a nitrifikációs folyamatokban a világ szikes tavaihoz képest más baktériumok vesznek részt (az ammónia-oxidáló *Nitrosomonas* és *Nitrosococcus*, és a nitrit-oxidáló *Nitrolancea* és *Nitrospira* nemzetségek). A tavak csiraszám becsléséhez és a baktériumtörzsek izolálásához egyedi készítésű táptalajokat alkalmaztunk. A törzsek többsége a *Bacillus* és rokon nemzetségekbe tartozott.

Kulcsszavak

szikes tavak, nitrogén, vízimadarak, piroszekvenálás, tenyésztés

Data regarding the planktonic bacteria with potential role in the transformation of nitrogen compounds in soda pans in Hungary

Abstract

Saline lakes can be found on all continents on Earth, however such lakes in Hungary are substantially different from those in other regions regarding their hydrochemical characteristics and nutrient cycling. The amount and detailed seasonal changes of various N-forms in the Hungarian soda pans are not well-known, but former studies have shown that total nitrogen concentration could reach high values (up to 5-35 mg/L). Hungarian soda pans are internationally significant places of bird migration and provide habitat for numerous aquatic bird species, therefore they have a substantial influence on the nitrogen cycle. Based on the pyrosequencing results of Zab-szék and Sós-ér pans, the amount of denitrifying and organic nitrogen-utilizing microorganisms (such as *Methylothermobacter* and *Nitrospirillum*, the latter can contribute up to 7.4% of the whole bacterial community) is significant. Partially due to the high sodium concentration, the relative abundance of chemolithotrophic nitrifying bacteria is low; however, compared to other soda lakes of the world, nitrification is carried out by other bacterial groups (the ammonia-oxidizing *Nitrosomonas* and *Nitrosococcus*, and the nitrite-oxidizing *Nitrolancea* and *Nitrospira*). We have designed new culture media to estimate the number of culturable bacteria and to isolate strains. Most of the identified strains belonged to *Bacillus* and related genera.

Keywords

soda pans, nitrogen, aquatic birds, pyrosequencing, cultivation

BEVEZETÉS

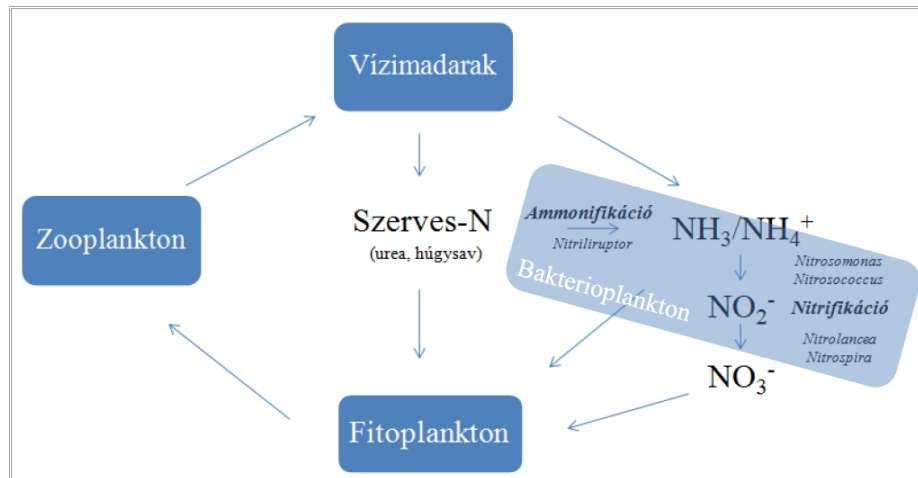
A magyarországi szikes tavak természetvédelmi szempontból kiemelt fontosságúak. Mivel a hazai szikes tavak száma az elmúlt évszázadokban egyes emberi tevékenységek (felszíni eredetű szennyezés, lecsapolás) hatására csökkent, állapotuk romlott, ezért ma már *ex lege* védelem alatt állnak. A többszörösen extrém környezeti viszonyoknak (jellemzően hiposzalin sókoncentráció, nagy huminanyag-tartalom, alkalikus pH) és az időszakos kiszáradásnak köszönhetően egyedülálló élővilággal rendelkeznek, emellett nemzetközi jelentőségű vonuló- és pihenőhelyei számos madárfajnak (Boros és társai 2013, 2014, 2017). Kutatásunk során a vizek szín- és lebegőanyag tartalma alapján megkülönböztetett zavaros (Zab-szék) és színes (Sós-ér) szikes tavakat vizsgáltunk. A szikes vizekben lévő N-formák mennyisége és részletes szezonális változása kevésbé ismert, azonban az előzetes adatok azt sugallják, hogy a szerves nitrogénformák

mennyisége egy tavon belül akár egy-két nagyságrendet is változhat (Schmidt 2003, Vörös és társai 2006, Dinka és társai 2009). A környezeti paraméterek (pH, hőmérséklet, sótartalom) változása jelentősen befolyásolhatja ezek mennyiségét (Theodore és társai 1996, Boros és társai 2008, 2017), de a fizikai és kémiai változók mellett a vonuló madarak jelenléte is meghatározó szereppel bírhat a nitrogéntartalmú vegyületek arányára és mennyiségére (Bosman és társai 1986, Boros és társai 2008, 2016).

A madarak ürüléke az összes nitrogén megoszlását tekintve átlagosan 70% húgysavból és 30% fehérjéből tevődik össze (Nahm 2003a). A belőle származó szerves nitrogén és ammónia allochton N-forrásnak számít, amelyek átalakításában (ammonifikáció, nitrifikáció) prokarióta szervezetek vesznek részt (Daebeler és társai 2015). A különböző N-formák elérhetősége befolyásolja a fitoplankton elsődleges termelését, ez a protisták és a

felsőbb trofikus szinten lévő zooplankton mennyiségére hat, amely a madarak táplálékául szolgál (1. ábra) (a hazai szikesek kutatási eredményeit összegző munkák: Szabó 1997, Boros és társai 2013). Korábbi vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az összes nitrogén koncentrációja 5-35 mg/L értéket is elérhet az általunk vizsgált

tavakban, a vizek pH értéke pedig jellemzően 8,5-10 között mozog (Korponai és társai 2016). Ekkora pH érték mellett ammóniavesztés következhet be ($\text{NH}_4^+ < \text{NH}_3$), ami hatással lehet a N-formák arányára a vízben (Rachhpal-Singh és Nye 1986, Camargo Valero és Mara 2007).



1. ábra. A N-formák átalakulási folyamatainak és trofikus szintekkel való kapcsolatának vázlatos rajza szikes tavak esetében
Figure 1. Schematic illustration of N-forms transformation processes and their connection with trophic levels in soda pans

CÉLKITŰZÉS

Kutatásunk célja, hogy azonosítsuk a N-formák átalakításában résztvevő prokarióta szervezeteket és megbecsüljük azok mennyiségi viszonyait két eltérő karakterű szikes tóban, a zavaros vizű Zab-székben és színes Sós-érben. Ehhez kettős megközelítést alkalmaztunk, tenyésztéstől független és tenyésztéses vizsgálatot. Első körben a korábban (Korponai és társai 2016) piroszekvenálással azonosított planktonikus baktériumközösség tagjai között kerestünk nitrifikáló és denitrifikáló szervezeteket, és ezek arányát határoztuk meg a teljes közösséghez képest. Második körben pedig az általunk fejlesztett egyedi táptalajok segítségével baktériumtörzseket izoláltunk. A táptalajok összeállításakor figyelembe vettük, hogy a tavak vizében milyen szerves és szervetlen anyagok találhatóak - pl. madárürülék eredetű szerves nitrogén és húgysav, valamint az ezek lebontásából származó ammónia, illetve a növényi eredetű huminsav és cellobióz (Nahm 2003a, Boros és társai 2017). A törzsek közeli rokonaira vonatkozó irodalmi adatok segítségével megbecsülhettük azok szerepét a tavakban megtalálható nitrogénformák átalakításában.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Tenyésztéstől független vizsgálat

A Zab-szék és Sós-ér vizéből havonta (2013 áprilisa és 2014 júliusa között) gyűjtött vízminták prokarióta közösségének összetételét GS Junior (Roche) készüléken történő DNS-szekvenálással határoztuk meg. (A módszer részletes leírását lásd: Szabó és társai 2017). A mintavételi időpontokra vonatkozó részletes információkat, valamint a helyszínen és a laboratóriumban mért fizikai és kémiai paraméterek értékeit korábbi munkánkban közöltük (Korponai és társai 2016). Az adatsor összesen 163 239 szekvenciát tartalmazott, 16 mintát a Zab-székben és 13 mintát a Sós-érből. A piroszekvenálás eredményének felhasználásával megállapítottuk, hogy a két tó esetén

milyen szervezetek vehetnek részt a nitrogén körforgalomban, valamint felmértük az egymáshoz viszonyított arányukat. Ehhez a kimutatott nemzetségekre vonatkozó irodalmi adatokat hívtuk segítségül (autotróf ammónia-oxidálók *Nitroso*-, nitrit-oxidálók *Nitro*- nemzetségnévvel stb.).

Tenyésztéses vizsgálat

Mindkét tóból 2016. október 18-án gyűjtöttünk víz-mintát a baktériumok tenyésztése céljából. A mintákból történő tenyésztéshez tizféle, általunk tervezett táptalajt készítettünk, amelyek összetétele az 1. táblázatban látható. A táptalajok a vizsgált szikes vizek tulajdonságai alapján (Schmidt 2003, Boros és társai 2014) készültek, pH-jukat 9,5 értékre állítottuk, valamint minden esetben tartalmazták az általunk készített ún. szikes-sós alapot, amelyet a táptalajhoz adva az alábbi végkoncentrációkat értük el: 8 g/L NaHCO_3 , 2,7 g/L $\text{Na}_2\text{CO}_3 \times 10 \text{H}_2\text{O}$, 1 g/L NaCl (a karbonát/hidrogén-karbonát ionok megfelelő aránya és mennyisége biztosította a táptalajok megfelelő pH-ját, valamint pufferelte is a közeget). A táptalajok az általánosan alkalmazott táptalaj-összetevők mellett egyéb komponenseket is tartalmaztak. Ezek között voltak olyanok (pl. egyes aminosavak), amelyeket a korábban, Ecoplate-tel végzett kísérletek (Mentes és társai, 2016; Szuróczi és társai, 2017) alapján választottunk ki. A többi esetben makrofiton-eredetű szerves anyagokat, valamint a madárürülék jellemző összetevőit (fehérjék, húgysav) tartalmaztak. Szilárdító anyagként 20 g/L agart, illetve 14 g/L gellángumit (gelzánt) alkalmaztunk, utóbbit a megfelelő szilárdulás érdekében 0,75 g/L $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ és 0,5 g/L $\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$ oldatokkal egészítettük ki.

A mintákat a mintavétel napján dolgoztuk fel. Hét tagból álló hígítási sort készítettünk, majd a hígítási sor különböző tagjait három párhuzamosban szélesztettük a táptalajokra, amiket aztán 15 °C-on inkubáltunk. A kinőtt telepeket megszámláltuk, majd a kiválasztottakat izolál-

tuk. A tisztítást követően a törzsekből a DNS kivonását a sejtek alkalikus lízisével végeztük: az azonosítani kívánt törzseket 25 µL 0,5M NaOH oldatban szuszpendáltuk, 15 percig szobahőmérsékleten inkubáltuk, majd 25 µL 1M TRIS [Trisz(hidroximetil)-aminometán]-HCl (pH 8) hozzáadása után 300 µL DEPC (dietyl-pirokarbonát)-kezelt vízzel hígítottuk az oldatot. Ezt követően polimeráz láncreakcióval felszaporítottuk a taxonómiai azonosításhoz szükséges 16S rRNS gént (a módszer részletes leírását lásd: *Máthé és társai 2014*). A bázisrend meghatározását az LGC Genomics (Berlin, Németország) cég végezte, az azonosítás az EzBioCloud adatbázisa alapján történt (*Yoon és társai 2017*).

1. táblázat. A baktériumok izolálásához készített táptalajok összetétele
Table 1. Composition of culture media used for the isolation of bacteria

Táptalaj kódja*	Táptalaj összetétele (1 L-re vonatkoztatva)
PA, PG	0,5 g húspepton, 1 g glükóz, 0,5 g élesztőkivonat, 0,2 g NaNO ₃ , 0,2 g NH ₄ Cl, 0,5 g KH ₂ PO ₄ , agar vagy gelzán, szikes-sós alap
EA, EG	0,5 g húspepton, 0,5 g húgysav, 0,2 g NH ₄ Cl, 0,5 g KH ₂ PO ₄ , agar vagy gelzán, szikes-sós alap
AA, AG	0,2 g L-szerin, 0,25 g L-aszparagin, 0,35 g L-arginin, 0,75 g glikogén, 0,5 g KH ₂ PO ₄ , agar vagy gelzán, szikes-sós alap
HA, HG	1 g D-cellobióz, 0,5 g huminsav, 0,5 g KH ₂ PO ₄ , agar vagy gelzán, szikes-sós alap
MR2A, MR2G	0,5 g élesztőkivonat, 0,5 g proteóz-pepton, 0,5 g kazamínosav, 0,5 g glükóz, 0,5 g vízdoldható keményítő, 0,3 g Na-piruvát, 0,3 g KH ₂ PO ₄ , 0,05 g MgSO ₄ , agar vagy gelzán, szikes-sós alap

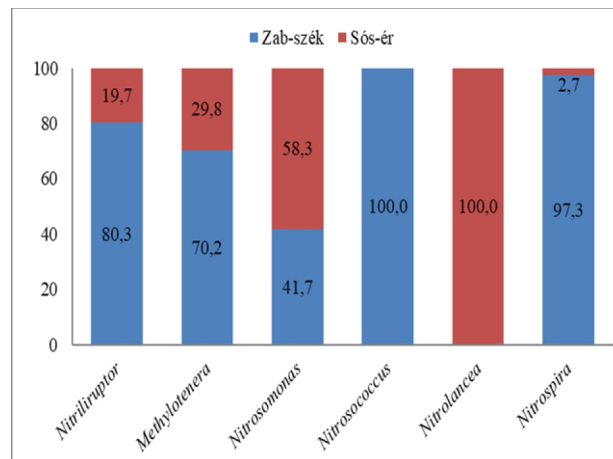
*A táptalajok kódjának utolsó betűje az alkalmazott szilárdító anyagra vonatkozik.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

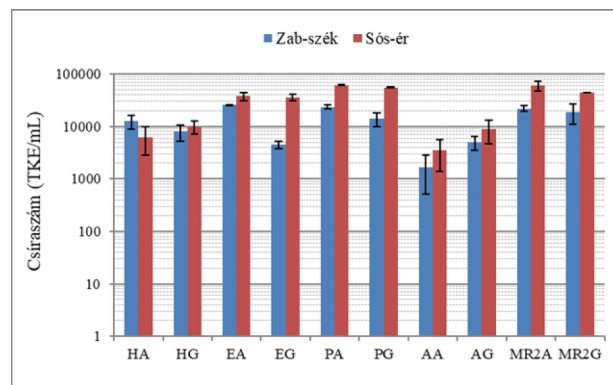
A Zab-szék és Sós-ér vizéből származó minták (2013-2014-es mintasor) piroszekvenálásának eredményei alapján a tavakban akár 1-2%-os mennyiségben is jelen lehet a denitrifikációra is képes metilotróf baktérium, a *Methylotenera* (*Kalyuzhnaya és társai 2010 és 2012, Mustakhimov és társai 2013*). Ennél lényegesen jelentősebb részét képezi a közösségnek az amidokat és alifás nitrileket hasznosító alkalofil *Nitriliruptor* (*Rosenberg és társai 2014*), amely a teljes baktériumközösség 7,4 %-át is alkothatja, de átlagosan 4,8% relatív mennyiségben fordult elő. A kemolitotróf nitrifikáló baktériumok mennyisége nagyon csekély volt a mintákban (átlagosan kevesebb, mint a teljes bakteriális közösség 0,5%-a), amit vélhetőleg a nagy nátrium koncentráció okoz (*Sorokin és társai 2015*). Mindezek mellett érdekes, hogy a nitrifikációs folyamatokban a világ szikes tavaitól eltérően (*Sorokin és társai 2015*) az ammónia-oxidáló *Nitrosococcus* és *Nitrosomonas*, valamint a nitrit-oxidáló *Nitrolancea* és *Nitrospira* nemzetségek vesznek részt. Továbbá az is megállapítható, hogy a különböző típusba tartozó két szikes vízben eltérő nitrifikáló szervezetek fordulnak elő (2. ábra).

A két tóból származó vízminták (2016 október) esetében az eltérő táptalajtípusokon kapott csíraszám értékek a 3. ábrán láthatók. Az általunk tervezett táptalajok mindegyikén nőtték telepek, és a Sós-ér esetén nagyobb tenyésztendő csíraszámot kaptunk szinte valamennyi eset-

ben. Általánosságban a legnagyobb mértékben a komplex összetételű (jellemzően húspepton tartalmú) táptalajokon szaporodtak el a baktériumok (MR2A, MR2G, EA, EG, PA és PG), amely vélhetőleg a könnyen hozzáférhető tápanyagoknak és a komplex összetevőkben rendelkezésre álló vitaminoknak, nyomelemeknek köszönhető. A vízimadarak hatásának jobban kitett Zab-szék minta különböző táptalajokon kapott csíraszámait összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a legnagyobb értékeket a fehérjés, húgysavat és ammóniumot tartalmazó, agarral szilárdított táptalajok (EA és PA) esetében kaptuk. A fent említett összetevők természetes körülmények között lehetnek akár madárürülék eredetűek is.



2. ábra. A Zab-szék és Sós-ér vízében található, a N-környezetben résztvevő prokarióta szervezetek megoszlása
Figure 2. Distribution of prokaryotic microorganisms participating in the nitrogen-cycle of Zab-szék and Sós-ér soda pans



3. ábra. A Zab-szék és Sós-ér tenyésztendő baktériumainak száma különböző táptalajokon 14 napos inkubálást követően (TKE, telepképző egység) (A táptalajok részletes adatait ld. 1. táblázatban)

Figure 3. Number of culturable bacteria from Zab-szék and Sós-ér after 14 days of incubation on different media (TKE, colony forming unit) (See details of media in Table 1)

Megfigyeltük továbbá, hogy az aminosavakból, illetve a huminsavból és cellobiózból álló táptalajokon a baktériumok csupán apró telepeket képeztek, ezek esetében kaptuk a legkisebb csíraszám értékeket is, ami valószínűleg a tápanyag-limitáltsággal állhat összefüggésben. Az eltérő szilárdító anyag használatának nem volt számottevő és egyértelmű hatása, holott korábbi vizsgálatok alapján a gellángumi esetében nagyobb tenyésztendő csíraszámokat figyeltek meg (*pl. Felföldi és társai*

2015). Ennek valószínűsíthető oka abban rejlik, hogy az agar foszfáttal együtt autoklavozva H_2O_2 képződését eredményezi, amely gátolhatja egyes baktériumok növekedését (Tanaka és társai 2014). Mivel azonban a mi esetünkben a KH_2PO_4 összetevőt külön sterilizáltuk, ez a hatás feltehetőleg nem lépett fel. Azonban a gelzán szilárdító anyagot tartalmazó táptalajokon kinőtt telepek morfológiájuk alapján sok esetben eltértek az agart

tartalmazó, ugyanolyan összetételű táptalajokon kinőtt telepektől, vagyis elképzelhető, hogy a két esetben a tenyésztendő közösség taxonösszetétele különböző. A különböző táptalajokról összesen 141 törzset izoláltunk (73-at a Zab-székből és 68-at a Sós-érből), amelyek esetében szekvencia analízist is végeztünk a taxonómiai azonosítás érdekében. Ennek eredményei a 2. táblázatban látható.

2. táblázat. A Zab-szék és a Sós-ér vizéből izolált baktériumtörzsek taxonómiai azonosításának eredményei
Table 2. Taxonomic identification of bacterial strains isolated from the water of Zab-szék and Sós-ér

Legközelebbi rokon faj	16S rRNS gén hasonlóság (%)	Törzsek száma	
		Zab-szék	Sós-ér
<i>Anaerobacillus alkalidiazotrophicus</i>	98,2	0	1
<i>Anaerobacillus arseniciselenatis</i>	97,3	1	0
<i>Anaerobacillus macyae</i>	97,5-97,9	2	0
<i>Bacillus alkalicola</i>	97,8	0	1
<i>Bacillus alkalisediminis</i>	96,6-100	16	0
<i>Bacillus aurantiacus</i>	97,6-99,4	12	19
<i>Bacillus horikoshii</i>	97,0-100	3	12
<i>Bacillus lindsayensis</i>	98,8-99,6	4	9
<i>Bacillus okhensis</i>	98,4-99,4	2	0
<i>Bacillus pseudofirmus</i>	97,6-98,7	2	3
<i>Bacillus zhanjiangensis</i>	96,8	0	1
<i>Brevundimonas bullata</i>	99,8	1	0
<i>Corynebacterium mycetoides</i>	98,8	1	0
<i>Dietzia maris</i>	100	0	1
<i>Jeotgalibacillus campisalis</i>	99,6-99,7	0	2
<i>Luteimonas aestuarii</i>	98,1	0	1
<i>Micrococcus aloeverae</i>	100	1	2
<i>Mongoliitalea lutea</i>	97,4-97,5	0	2
<i>Nitriicola alkalisediminis</i>	100	0	1
<i>Paracoccus marcusii</i>	100	0	1
<i>Polygonibacillus indicireducens</i>	99,2-99,4	0	2
<i>Porphyrobacter donghaensis</i>	98,6-98,9	2	0
<i>Porphyrobacter neustonensis</i>	98,7-99,4	4	0
<i>Porphyrobacter sanguineus</i>	97,4	1	0
<i>Porphyrobacter tepidarius</i>	98,9-99,4	3	2
<i>Rhodobaca barguzinensis</i>	98,3	0	1
<i>Salipaludibacillus agaradhaerens</i>	96,8-100	11	2
<i>Salipaludibacillus neizhouensis</i>	97,2-98,1	4	3
<i>Streptomyces sodiiphilus</i>	99,9-100	3	1
<i>Streptomyces xinghaiensis</i>	100	0	1

Az adatbázissal való összehasonlítás alapján a törzsek főleg a *Bacillus* és rokon nemzetségekbe tartoztak, döntő többségük valamelyik *Bacillus* fajjal mutatott közeli rokonságot. E nemzetség tagjai korábbi kutatási eredmények alapján az ureát lebontó ureáz enzimet kódoló génnel rendelkeznek (Cruz-Ramos és társai 1997), azaz részt vehetnek az urea lebontásában (Borsodi és társai 2007), befolyásolva ezzel a N-formák mennyiségét a környezetben, így a szikes tavakban is, hiszen az urea a húgysav mikrobiológiai lebontásának a köztiterméke (Nahm 2003b). Az alkalofil és halofil *Bacillus alkalisediminis* és a *Bacillus aurantiacus* fajokat egyébként kiskunsági szikes tavakból tenyésztették ki és írták le az ELTE Mikrobiológiai Tanszék kutatói (Borsodi és társai 2008, Borsodi és társai 2011). Esetünkben a 16S rRNS gén összehasonlító bázissorrend elemzésénél tapasztalható hasonlósági százalékkértékek alapján több törzs is vélhetőleg a tudományra nézve új fajt képvisel.

KÖVETKEZTETÉSEK

Piroszekvenálási adatok elemzésével megállapítottuk, hogy a Zab-szék és Sós-ér vizében a kemolitotróf nitrifikáló baktériumok mennyisége csekély. Vélhetőleg a szikes tavak vizének nagy nátriumtartalma gátló hatással van ezekre a szervezetekre. Tenyésztéses vizsgál-

latunk során döntő többségben a *Bacillus* és rokon nemzetségekhez tartozó törzseket sikerült izolálnunk, annak ellenére, hogy tízféle táptalajt is felhasználtunk. Irodalmi adatok alapján a *Bacillus* nemzetség tagjai ureáz aktivitással rendelkeznek, így szerepük lehet a madárürülék által a tavakba jutott nitrogénvegyületek átalakításában.

TOVÁBBI KUTATÁSI CÉLOK

A továbbiakban az izolált törzsekkel különböző anyagok lebontását (aminosavak, fehérjék, huminsav, húgysav) és ezáltal a baktériumok N-környezetben betöltött szerepét, valamint a vízimadarak hatását kívánjuk vizsgálni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az NKFIH PD 112449 és K 116275 pályázatok támogatták. Somogyi Boglárka munkáját a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János kutatói ösztöndíja segítette. Felföldi Tamás az Emberi Erőforrások Minisztériuma Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásában részesült (ÚNKP-17-4-III-ELTE-111). A kutatás során használt műszerek beszerzését a KMOP-4.2.1/B-10-2011-0002 és TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0030 pályázatok támogatták. A szerzők köszönetüket fejezik ki Nagy Hajnalkának a labormunkában való részvételért, Tugyi Nórának, Szabó Timeának és Németh Baláznak a mintavételek és a minták feldolgozása során nyújtott segítségükért.

IRODALOM

- Boros E., Nagy T., Pigniczki Cs., Kotymán L., Balogh K. V., Vörös L. (2008). The effect of aquatic birds on the nutrient load and water quality of soda pans in Hungary. *Acta Zool. Acad. Sci. Hung.* 51: 207-224.
- Boros E., Ecsedi Z., Oláh J. (2013). *Ecology and Management of Soda Pans in the Carpathian Basin*. Hortobágy Természetvédelmi Egyesület, Balmazújváros
- Boros E., Horváth Zs., Wolfram G., Vörös L. (2014). Salinity and ionic composition of the shallow soda pans in the Carpathian Basin. *Ann. Limnol. – Int. J. Lim.* 50: 59-69.
- Boros E., Pigniczki Cs., Sági T., V.-Balogh K., Vörös L., Somogyi B. (2016). Waterbird-mediated productivity of two soda pans in the Carpathian Basin in Central Europe. *Waterbirds* 39: 388-401.
- Boros E., V.-Balogh K., Vörös L., Horváth Zs. (2017). Multiple extreme environmental conditions of intermittent soda pans in the Carpathian Basin (Central Europe). *Limnologica* 62: 38-46.
- Borsodi A.K., Makk J., Ruzsnyák A., Vajna B., Taba Gy., Márialigeti K. (2007). Phenotypic characterization and molecular taxonomic studies on *Bacillus* and related isolates from *Phragmites australis* periphyton. *Aquat. Bot.* 86: 243-252.
- Borsodi A., Márialigeti K., Szabó G., Palatinszky M., Pollák B., Kéki Zs., Kovács A. L., Schumann P., M. Tóth E. (2008). *Bacillus aurantiacus* sp. nov., an alkaliphilic and moderately halophilic bacterium isolated from Hungarian soda lakes. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 58: 845-851.
- Borsodi A., Pollák B., Kéki Zs., Ruzsnyák A., Kovács A. L., Spröer C., Schumann P., Márialigeti K., Tóth E. M. (2011). *Bacillus alkalisediminis* sp. nov., an alkaliphilic and moderately halophilic bacterium isolated from sediment of extremely shallow soda ponds. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 61: 1880-1886.
- Bosman A. L., Du Toit J. T., Hockey P. A. R., Branch, G. M. (1986). A field experiment demonstrating the influence of seabird guano on intertidal primary production. *Est. Coast. Shelf Sci.* 23: 283-294.
- Camargo Valero M. A., Mara D. D. (2007). Nitrogen removal via ammonia volatilization in maturation ponds. *Water Sci. Technol.* 55: 87-92.
- Cruz-Ramos H., Glaser P., Wray L. V., Fischer S. H. (1997). The *Bacillus subtilis ureABC* operon. *J. Bacteriol.* 179: 3371-3373.
- Daebeler A., Bodelier P. L. E., Hefting M. M., Laanbroek H. J. (2015). Ammonia-limited conditions cause of Thaumarchaeal dominance in volcanic grassland soil. *FEMS Microbiol. Ecol.* 91: fiv014.
- Dinka M., Ágoston-Szabó E., Kiss A., Schöll K. (2009). A Fertő magyar tórérsének térbeli eltérései a vízkémiai jellemzők és a zooplankton együttesek alapján. *Magyar Hidrológiai Társaság XXVII. országos vándorgyűlése*, Baja, 2009. július 1–3.
- Felföldi T., Kovács E., Fikó D. R., Tankó Gy., Szabó A., Nagymáté Zs., Szilveszter Sz., Máthé I. (2015). Hagyományostól eltérő eljárások alkalmazása új baktériumtörzsek laboratóriumi tenyésztése érdekében. *Hidrol. Közl.* 95: 19-21.
- Kalyuzhnaya M. G., Beck D. A. C., Suciu D., Pozhitkov A., Lidstrom M. E., Chistoserdova L. (2010). Functioning in situ: gene expression in *Methylobacterium mobilis* in its native environment as assessed through transcriptomics. *ISME J.* 4: 388-398.
- Kalyuzhnaya M. G., Beck D. A. C., Vorobey A., Smalley N., Kunkel D. D., Lidstrom M. E. (2012). Novel methylotrophic isolates from lake sediment, description of *Methylobacterium versatilis* sp. nov. and emended description of the genus *Methylobacterium*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 62: 106-111.
- Korponai K., Szabó A., Somogyi B., Vörös L., Vajna B., Boros E., Felföldi T. (2016). A planktonikus bakteriális közösség szezonális alakulása különböző karakterű szikes tavakban. *Hidrol. Közl.* 96: 44-52.
- Máthé I., Borsodi A. K., Tóth E. M., Felföldi T., Jurecska L., Krett G., Kelemen Zs., Elekes E., Barkács K., Márialigeti K. (2014). Vertical physico-chemical gradients with distinct microbial communities in the hypersaline and heliothermal Lake Ursu (Sovata, Romania). *Extremophiles.* 18: 501-514.
- Mentes, A., Bánhegyi, F., Tugyi, N., Szabó, A., Jurecska, L., Somogyi, B., Vörös, L., Felföldi, T. (2016). Eltérő szerves anyag tartalmú vizek heterotróf bakteriális közösségeinek összehasonlítása. LVIII. Hidrobiológus Napok. Tihany, 2016. október 5-7.
- Nahm K. H. (2003a). Current pollution and odor control technologies for poultry production. *Avian Poultry Biol. Rev.* 14: 151-174.
- Nahm K. H. (2003b). Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. *World Poultry Sci. J.* 59: 77-88.
- Mustakhimov I., Kalyuzhnaya M. G., Lidstrom M. E., Chistoserdovaa L. (2013). Insights into denitrification in *Methylobacterium mobilis* from denitrification pathway and methanol metabolism mutants. *J. Bacteriol.* 195: 2207–2211.
- Rachhpal-Singh, Nye P. H. (1986). A model of ammonia volatilization from applied urea. I. Development of the model. *J. Soil Sci.* 37: 9-20.
- Rosenberg E., DeLong E. F., Lory S., Stackebrandt E., Thompson F. (2014). *The Prokaryotes: Actinobacteria*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 587-594.
- Schmidt A. (2003). Kiskunsági szikes tavak (KNP II) összehasonlító vízkémiai vizsgálata. *Természetvédelmi Közl.* 10: 153-162.
- Sorokin D. Y., Banciu H. L., Muzer G. (2015). Functional microbiology of soda lakes. *Curr. Opin. Microbiol.* 25: 88-96.
- Szabó A. (1997). A hazai szikes élőhelyek kutatásának áttekintése és a jövő feladatai. *Hidrol. Közl.* 77: 103-104.
- Szabó A., Korponai K., Kerepesi Cs., Somogyi B., Vörös L., Bartha D., Márialigeti K., Felföldi T. (2017). Soda pans of the Pannonian steppe harbor unique bacterial

communities adapted to multiple extreme conditions. *Extremophiles* 21: 639-649.

Szuróczy S., Korponai K., Sári E., Tugyi N., Felföldi T., Somogyi B., Márialigeti K., Tóth E. (2017). A Fertő különböző típusú élőhelyeinek mikrobiológiai vizsgálata a limnológiai paraméterek tükrében. *Hidrol. Közl.* (nyomtatás alatt)

Tanaka T., Kawasaki K., Daimon S., Kitagawa W., Yamamoto K., Tamaki H., Tanaka M., Nakatsu C. H., Kamagata Y. (2014). A hidden pitfall in the preparation of agar media undermines microorganism cultivability. *Appl. Environ. Microbiol.* 80: 7659-7666.

Theodore C. L., Bjiirn G., James A. L. (1996). Ammonia nitrogen dynamics in coastal rockpools affected by gull guano. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 196: 113-129.

Vörös L., Boros E., Schmidt A., Balogh K., Németh B., Somogyi B., Mózes A. (2006). A fitoplankton fizikai és kémiai környezete fehér vizű szikes tavainkban. *Hidrol. Közl.* 86: 139-141.

Yoon S. H., Ha S., Kwon S., Lim J., Kim Y., Seo H., Chun J. (2017). Introducing EzBioCloud: A taxonomically united database of 16S rRNA and whole-genome assemblies. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 67: 1613-1617.

A SZERZŐK



CSITÁRI BIANKA Környezettan alapszakon, majd környezettudomány mesterszakon végzett az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. Diplomamunkáját az ELTE Mikrobiológiai Tanszékén írta, Felföldi Tamás témavezetésével, melynek témája: fenolos vegyületek mikrobiológiai lebontásának vizsgálata természetes és mesterséges környezetekben. Tanulmányait az ELTE Környezettudományi Doktori Iskola hallgatójaként folytatja, kutatási témája a hazai szikes tavak nitrogén körforgalmának feltárása.

SZABÓ ATILA Biológus, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Mikrobiológiai Tanszékén a Genomikai Laboratórium munkatársa. Kutatási területe a különféle környezetekben előforduló mikrobaközösségek feltárása, kapcsolatrendszerük vizsgálata. Elsősorban genomikai, metagenomikai módszerekkel és az ezekkel kapott adatok bioinformatikai és statisztikai elemzésével foglalkozik.

BEDICS ANNA Az Eötvös Loránd Tudományegyetem biológus mesterszakos hallgatója. Az itt bemutatott kutatás során a törzsek azonosításában vett részt.

KORPONAI KRISTÓF Biológus, az Eötvös Loránd Tudományegyetemen folytat doktori tanulmányokat. Érdeklődési területe (elsősorban szikes) állóvizeket ölel fel, környezeti mikrobiológiai vonatkozásban.

BECKER BARBARA Az Eötvös Loránd Tudományegyetem biológia alapképzését végezte el, diplomamunkáját az ELTE Mikrobiológiai Tanszékén Felföldi Tamás témavezetésével írta, az oligotróf hegyi tavak mikrobaközösségeiről. Jelen cikk témájában Csitári Bianka és Felföldi Tamás témavezetésével végzett kutatómunkát.

BOROS EMIL Tudományos munkatárs, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. Az eurázsiai szikes, sós vizekkel és sekély tavakkal kapcsolatos limnológiai kutatások képezik fő tevékenységét. Ezen belül kiemelt témája az anyagforgalmi és trofikus kapcsolatok, a mezozooplankton, a makrogerinctelen és vízmadár közösségek kutatása, melyben közel 20 éves szakmai tapasztalata van. Emellett elsősorban tavak, vizes- és füves élőhelyek természetvédelmével, kezelésével és helyreállításával is foglalkozik, melyben több mint 25 éves gyakorlati tapasztalattal rendelkezik.

VÖRÖS LAJOS Limnológus, algológus, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. Kutatja a felszíni vizek eutrofizációját, a vízgyűjtőterület és a befogadó kapcsolatát. Limnológiai, algológiai kutatásai kiterjednek a Balatonon kívül természetes és mesterséges sekély és mély tavakra, valamint extrém élőhelyekre, mint a Kárpát-medence szikes tavai és az Erdélyi Sóvidék hipersós vizei.

SOMOGYI BOGLÁRKA Tudományos munkatárs, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. PhD fokozatát 2011-ben szerezte meg az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, hidrobiológia szakterületen. Kutatási területe a fotoautotróf és heterotróf mikroorganizmusok dinamikájának és kapcsolatrendszerének vizsgálata természetes vizekben. Kiemelten foglalkozik pikoalga törzsek izolálásával, tenyésztésével, ökofiziológiai vizsgálatával, illetve molekuláris filogenetikai azonosításával.

FELFÖLDI TAMÁS Biológus, PhD fokozatát az Eötvös Loránd Tudományegyetem Mikrobiológiai Tanszékén szerezte meg, az ELTE adjunktusa, a Genomikai Laboratórium vezetője. Jelenlegi kutatási területe természetes vizes élőhelyek mikrobiális ökológiáját és gerinctelenek molekuláris taxonómiáját öleli fel, amiket új fajok leírása egészít ki.

Fórum

Az MTA Vízgazdálkodás-tudományi Bizottságának Vízellátási és Csatornázási Bizottsága 2017. december 6-án „Az Ivóvízminőség-javító Program tapasztalatai” címmel tartott előadóülést, melyen „IMJP – Az előkészítés hiányosságai” címmel hangzott el bevezető előadás Prof. Dr. Licskó István részéről. Ezt követően négy felkért hozzászóló tartott rövid előadást a témához kapcsolódóan.

Az előadóülésen elhangzott előadások, valamint a résztvevők által megfogalmazott gondolatokat Prof. Dr. Juhász Endre CSc., a Bizottság elnöke, valamint Prof. Dr. Licskó István CSc., Dr. Melicz Zoltán PhD., Prof. Emerita Dr. Dulovics Dezsőné és Dr. Papp Mária, a Bizottság felkért tagjai szerkesztették ajánlási formába.

A Magyar Tudományos Akadémia Vízgazdálkodás-tudományi Bizottság Vízellátási és Csatornázási Bizottságának ajánlása az Ivóvízminőség-javító Program tapasztalatai alapján

1. A 2015-ig megvalósításra került *Ivóvízminőség-javító Program (IMJP) csak részben teljesítette a megfogalmazott célokat, mely nem kis mértékben az előkészítő tevékenység hiányosságainak következménye, valamint nem működött a megfelelő szakmai kontroll a finanszírozó oldaláról.*
2. A jelenlegi EU költségvetési időszakban (2014 – 2020) megvalósításra kerülő ivóvízminőség-javító programban a finanszírozást nyújtónak mind az előkészítés, mind a kivitelezés idején lényegesen nagyobb szerepet, beleszólási jogot kell kapnia. A *finanszírozónak ki kell alakítania a szükséges szakmai kontroll rendszerét.*
3. A projektek előkészítési folyamataiban a *különböző műszaki alternatívák meghatározására a jövőben lényegesen nagyobb figyelmet kell fordítani. Ennek érdekében célszerű a Területi Vízgazdálkodási Tanácsok és a helyi engedélyező hatóságok szakmai tevékenységét megerősíteni, szükség esetén külső szakértők munkáját igénybe venni.*
4. A következő időszak új pályázati kiírásában figyelembe kell venni a „hibafeltérési” szakértői véleményeket, továbbá a tenderértékelési bizottságban kapjon helyet a megbízott szakértő(k) képviselője.
5. A „kiértékelő” *jogosult és elismert szakértő(k)* a kiíró általi felkérés vagy kijelölés alapján kapjanak megbírást.
6. A pályázati kiírás tartalmazzon személyes büntetőjogi felelősségre vonásra vonatkozó utalást (mérnök szerep).
7. Megfontolandó, sőt javasolt, hogy a Magyar Mérnöki Kamara aktív közreműködésével a jelenlegi EU költségvetési időszakban megvalósításra tervezett projektekből kiszűrhetők legyenek azok a fővállalkozó, szakértő, tervező, kivitelező szervezetek, amelyek a 2015-ig befejeződött IMJP akciókban súlyos hibákat, mulasztásokat követtek el.
8. Szükséges a 2015-ig megvalósításra került IMJP beruházások tapasztalatainak összegyűjtése és szakértői értékelése (amíg nem késő!), hogy a jelenlegi EU költségvetési időszakban már ne kövessük el azokat a súlyos anyagi áldozattal járó hibákat, melyekre korábban sor került. A részletes felmérés és értékelés várhatóan néhány tucat millió Ft költsége a hibák javítására fordít(ott)andó több milliárd Ft-os többletköltség mellett eltörpül.
9. Megfontolandó, hogy az önkormányzati beruházásoknál a finanszírozó szakmai kontrollja mellett az érintett üzemeltető Vízművek is a beruházás egész folyamatában felelősséggel részt vegyenek.

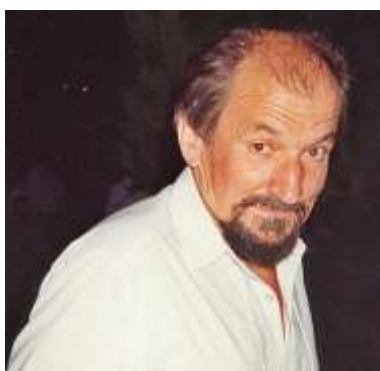
Az ülésen felmerült az IMJP beruházásokban részt vevők komplex tudásának igénye a vízellátás-csatornázás szakterületén. Erre vonatkozóan a Vízellátási és Csatornázási Bizottság 2010-ben az építőmérnök képzésre már adott ki állásfoglalást, amit eljuttatott az érintett főhatóságokhoz. Ezen állásfoglalás elveinek érvényesülését az érintett irányító hatóságoknak szükséges volna felülvizsgálni, és annak alapján megvalósulását elérni.

Fórum

A Magyar Hidrológiai Társaság Centenárium emlékévi előadás sorozatához kapcsolódva a Hidraulikai és Műszaki Hidrológiai Szakosztály 2017. november 30-án *Prof. Zsuffa Istvánra emlékezünk* címmel előadóülést tartott. „Édesapánk”-ra emlékeztek fiai Dr. Zsuffa András, Dr. Zsuffa István. Kollégái és barátai közül prof. Szántai Tamás, prof. Bogárdi István, prof. Szöllösi-Nagy András, Dr. Gálai Antal, Dr. Goda László és Sziebert János: nem annyira szakmai inkább személyes emlékekkel tüzdelt rövid megemlékezéseket tartottak Zsuffa professzorról.

A rendezvény levezető elnökének, Dr. Rátky Istvánnak, a Hidraulikai és Műszaki Hidrológiai Szakosztály elnökének ajánlása alapján közreadjuk Dr. Szöllösi-Nagy András, PhD, DSc, egyetemi tanár, a Hidrológiai Közöny Szerkesztőbizottsága elnökének személyes hangvételű megemlékezését.

Zsuffa: a sógortól a példaképig - Egy abszolút szubjektív megemlékezés –



Emlékdarabokat fogok felidézni – kezdte megemlékezését Szöllösi-Nagy András.

*

„Elég nyilvánvaló – bár valószínűleg ezt nem tudják sokan, de vélhetően sejtik – hogy pályám választását és nagyjából teljes mostani intellektuális érdeklődési területet Zsuffa István határozta meg. Példakép, ahogy ezt a magyar nyelv oly’ szépen fejezi ki. István mind a mai napig példa és kép számomra, olyan dolog, ami valószínűleg soha nem fog eltűnni életem hátralévő részéből.”

*

„István sokkal több volt, mint a ma divatos „role model”, hiszen soha nem tűrte, hogy szerepként kövessék – mindez egyenesen következett kritikus gondolkodásmódjából és abból, hogy számára a kritikai gondolkodás a létezés sine qua non-ja volt.”

*

„Emlékeim első darabja a hatvanas évek elejéről származik, amikor Zsuffa nagy intenzitással Panni nővéremnek udvarolt a VITUKI-ban – akkor hallottam először azt a kifejezést, hogy vikupi, ahová aztán később engem is elvezényelt a sors, valószínűleg ebben is az Ő példáját követve. Meg bizonyos szent emberekről is akkoriban hallottam legelőször, ha nem is hátulgombolós, de rövid nadrágban. Lászlóffy volt az első számú vezérszent, de a Dégen, majd később a Prékopa név, mint helyi szentek is nagy gyakorisággal bukkantak fel a vasárnapi ebédeknel, ahol sűrűn került sor az ország átrajzolására is. Apám a határokat – bár azok az elfogyasztott bor hatására dinamikusan változtak – Lembergnél óhajtott meghúzni, mert ott valamikor volt egy hejre, bővérű vengerka barát-

nője és hátha megvan még – István viszont maximum Pécelnél, mert arra meg tudott egy rímet. (Az ilyen és ehhez hasonló élcek miatt a piaroknál állítólag, az infantilis szóból származtatva, Infi-nek hívták az osztálytársai, ami annyiban volt igaz, hogy – valószínűleg megint csak a kritikai gondolkodásának megfelelően – mindig gondosan ügyelt arra, hogy ne legyen „main stream” és megőrizze gondolkodásának és kifejezésmódjának gyermeki frissességét.) Csakugyan üde jelenség volt a „von Haus aus” kifogástalan udvariasságú gentleman sajátos humora, ami minden volt, csak nem rendszer kompatibilis – ez tetszőleges rendszer esetére igaz, mert mindig egyenletesen kritikus volt minden honi rezsimmel. Lett is ebből elég baja.”

*

„István egy intellektuálisan nyughatatlanul és állandóan újat kereső szellem volt. Mindaddig, amíg a borzalmas kór el nem érte, a szellemi kalandozás volt élete értelme.”

*

„A következő emlékdarab szintén a hatvanas évek közepére datálható. Bakonyánán, 1965, az UNESCO Nemzetközi Hidrológiai Decenniumának kezdete. Felkészülés a budapesti Nemzetközi Kísérleti és Reprezentatív Vízyűjtők Konferenciára, szakmai kirándulás az István vezette bakonyánáni Kísérleti Hidrológia Állomásra, amit a nagyszerű Karácsi Kálmán támogatásával hozott létre. Az első igazán nagy nemzetközi szakmai konferencia a 63-as amnesztia után. A szakma nagyjai közül sokan jöttek el. Ven Te Chow is, aki egy évvel korábban jelentette meg a szakmai fordulópontnak számító Applied Hydrology-ját. Én akkor a bakonyánáni telepen serteper-

téltem mint középiskolás diák, és István irányításával a Kazó-féle mesterséges csapadék-apparátussal mértem felszíni mikro-lefolyást a Prém-malom különböző helyein, de lehetőleg közel az istállóhoz, ahol a friss szalmán jókat lehetett szunyókálni. Frankofon lévén, István éppen egy francia csoportot kalauzolt a kísérleti telepen - azt hiszem a nagy tiszteletben álló Rodier professzor volt a vizitáló franciák főnöke – és vázolta a hosszú csapadék-idősorok hidrológiai fontosságát. Példaként a telepen már régóta üzemelő csehszlovák csapadékírórt hozta fel. Voila! – csapott is a trágyadomb melletti műszerre. Rodier-t sajnos annyira érdekelte a csehszlovák műszeripar remeke, hogy kinyitotta a műszerajtót, amire egy döglött galamb teteme és a cseh nyelvű műszerkönyv hullottak ki a műszerből. (A műszert előző nap Prém urammal én telepítettem, de a galambot illetően máig ártatlan vagyok!) Hja, a nagy múltú magyar hidrológia! – somolygott Rodier, mi pedig Istvánnal együtt szerettünk volna eltűnni a térképről. Azt hiszem akkor határoztam el, hogy hidrológus leszek, mert az biztos hatalmas móka.”

*

„A kísérleti hidrológia megszállottja volt – Bakonyánától Magyaregregyig. A jégészleléstől a beszivárgási vizsgálatokig. Szinte mániákusan akarta végigmérni a hidrológiai ciklus voltaképpen összes elemét: „Elvtikéim, a mérnök mér. Műkéz, múltáb, Műegyetem.” Az egy Lászlóffy-t kivéve nem ismertem még hidrológust, akinek ennyire fontos lett volna a kísérleti munka. (Szemben Lászlóffyval Zsuffa mért is ...) És Istvánt kivéve egyáltalán nem ismertem hidrológust, aki oly szenvedélyesen imádta a terepi munkát és az azt követő elemző adatfeldolgozást, mint Ő. Diákjai a megmondható a magyaregregyi mérőgyakorlatok vágató rohanásainak, különösen nagycsapadék előfordulása esetén. Minél sárosabb lett, annál boldogabb volt. Ilyenkor maliciózus megjegyzéseket tett a fehérköpenyes vitukisokra, amit addigra már elhagyott. Régi vágya volt, hogy kimérjen egy egységárhullámot, ami persze hiú ábránd volt, mert az egységnyi árhullám – bár kétségtelen számolunk vele – éppen nem létezik. „Már majdnem elcsíptem, elvtikém, már majdnem, csak beragadt a sebességmérőszárny”, és izgalommal várta a következő árhullámot.”

*

„Kulcsszerepe volt a numerikus hidrológia magyarországi kifejlődésében. Hogy túltegye magát a XIX.-ik századi konzervatív műegyetemi matematikán, elvégezte az ELTE alkalmazott matematika szakát. Én meg stikában az olvashatatlanul szép jegyzeteit silabizáltam. „Elvtikém, ez a funkcionál nem funkcionál” – énekelte többórás habfürdői közepette a Bob herceg igéző dallamára.”

*

„Baján a 60-as évek derekán indította el a Magyar Hidrológiai Társaság a „Korszerű módszerek, matematikai modellek a hidrológiában” című ankétorozatát. Ez mér-földkőnek bizonyult a későbbiek során. Prékopa Valószínűségelmélet könyvének hatására tározáselemeléssel kezdett foglalkozni. Ha jól tudom igazából az egész világon Ő volt az egyedüli, aki a Moran-modellt nemcsak, hogy megértette, hanem alkalmazni is tudta. Rózsa Pállal és Gálaival egy sereg mátrixelméleti gyorsító algoritmust

dolgoztak ki, aminek csúcspontja a Yevjevich által Colorado-ban kiadott közös Zsuffa-Gálai kötet volt. Clusters algoritmusokat dolgozott ki a Duna előrejelzésére – amin ugyan marakodtunk, mert szerintem az számpaszírozás, amire Ő maoi tömörséggel válaszolt: „Elvtikém, virágözék száz virág, mert a virágnak azt megtiltani nem lehet.” Hihetetlen sok területen dolgozott, a 65-ös Nagy Dunai Árvízról kezdve, az árvízszámítás statisztikai módszereinek megújításán át a főiskolai és egyetemi tanításig és jegyzetírásig. Ez utóbbi kettő szakmai élete nagy öröme volt.”



Szöllősi-Nagy András megemlékezését tartja
(Fotó: Vízzy Zsigmond, Duna Múzeum)

*

„Voltak periódusai - ezeket a zsufoológia nagy pillanatainak neveztük: az egységárhullámkép-módszer (még az én vonatkozó számárságaimat a háromszög alakú egységárhullámképpel is izgalmasnak tartotta, jóllehet Kontur Pisti attól már a térdét csapkodta a röhögéstől, jelzem volt is miért), az árvízi maximumok eloszlásai, a Gumbel-Frêchet eloszlás, a Zelenhasiç-Todorović módszer, a Moran-modell és lánc-lánc Markov-lánc ...”

*

„A Bajai Főiskola szívégye volt. Nem láttam még tanárt, aki annyira a diákjaiért élt és dolgozott volna, mint Ő. A diákjai voltak az aprószentjei – Virág Misi, Eszéky Ottó. Hihetetlen szeretettel és szokatlan tisztelettel beszélt akkori fiatal munkatársairól a bajai R-10 számítóközpontban: Gálai “Szörös” Anti, Rodolfo, a Kisgoda, Editke és még egy hosszú sor. Rajongott értük. Nem láttam még embert, akinek annyira fontos lett volna a szakmája és azon keresztül a többiek szolgálata, mint Neki. Baján, Algirban, Mongóliában és Ruandában. Bárhol és mindenhol, bárkinek és mindenkinek.”

*

„Harmadéves műegyetemistaként az általa vezetett Töltésállapot Vizsgáló Csoportban dolgoztam szinte végig a 70-es Tiszai Árvíz alatt. A Csoportnak, Zsuffát, a Főnököt kivéve, két tagja volt: Holló Öcsi és én (néha, ha jól emlékszem Goda Peti is megjelent a csapatban nagy mennyiségű sör társaságában). A munka abból állt, hogy egy böhönc nagy dugóhúzó behajtottunk az árvédelmi töltésbe, azzal talajmintát vettünk és megállapítottuk a töltésátázás mértéket, majd a mintákat bevittük a szegedi VIZIG talajmechanikai laborjába. Utána felvonultunk Vágás Pista manzardjába, ahol egy nagy tacepao azt hirdette, hogy VITUKI=kupi, majd kellő hosszúságú vituki-szidást követően István vezényletével bevonultunk a Hági cukrászdába, ahol István rendszerint egy négy-

zetméter franciakrémest rendelt a csoport megfáradt munkásainak, majd rendre elfogyasztotta őket. (Nem a munkatársakat.) Imádta az édességet.”

*

„És végül. Bár már több, mint harminc éves történet, de még mindig beleborzongok, mennyire megviselte a Bős-Nagymaros körüli hisztéria és hazugságkampány. Több okból is. Először azért, mert az ellenzők érvrendszere hamis volt, hazug és manipulált – “Bolszeviki taktika, elvtikém, bolszeviki!” - emelte ilyenkor fel intón, szelíd humorral az ujját. De megviselte azért is, mert az úgynézett értelmiség – a bélvárosi plégojok, ahogy félelmünket csökkentendő hivatkoztunk rájuk - ilyen vagy olyan politikai számítás – túlélés vagy egy használható új legitimitáció kreálása okán saját ontológiáját tagadta meg. Ezek közül sokan még ma is a hatalom ep-

szilon környezetében vannak s mindaddig, amíg ott lesznek, ragaszkodnak is legitimitációjukhoz. Azaz a füllentés folytatódik.

Bizonyos értelemben mindketten kirekesztettnek éreztük magunkat. Nehezen viselte, hogy eltűnt az értelem és a felszított tudatlan tömeg feszítsd meg!-et kiált. Tett még egy kísérletet az időközben országvezetővé avansált gyerekkori piarista barát meggyőzésére, akit még a saját sógora sem tudott meggyőzni érvei tarthatatlanságáról és tudománytalanságáról, amire jött is a röpké válasz a magas helyről: “Emil is ilyenekkel nyaggat állandóan. Nézd Istvánkám, én hülye vagyok a vízlépcsőhöz, ti meg hülyék vagytok a politikához.”

*

„István szó szerint elméje tisztaságának utolsó pillanatáig harcolt az igazságért. Én meg elfutottam”.

Könyvismertetés

A közelmúltban jelent meg Nagy László: Gátszakadások a Kárpát-medencében. Gátszakadások kialakulásának körülményei című könyve. Az Országos Vízügyi Főigazgatóság kiadásában megjelent 412 oldalas mű igen gazdag tényanyagot dolgoz fel, melyet 152 ábrával, 176 képpel és 95 táblázattal is kiegészít.



Dr. Nagy László, aki a Hidrológiai Közlöny szakági szerkesztőjeként is működik, de elsősorban a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen a geotechnika megbecsült, és sokunk által kedvelt oktatója. Tanulmányai és eddigi pályafutásának állomásai, a Vízügyi Tervező

Vállalat, a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ, az Árvízvédelmi és Belvízvédelmi Központi Szervezet, az Országos Vízügyi Főigazgatóság hozzájárultak szakmai fejlődéséhez. Gyakorlati szemléletének kialakulását segítette az, hogy jelen volt az utóbbi évtizedek nagy árvízi védekezéseinél, mindig ott volt az árvízvédelmi töltéseken, ahol veszélyhelyzet alakult ki. Nagy László ugyanakkor az egyik legtöbbször publikáló „vízügyes” szakember, akinek a szakmai folyóiratokban megjelent közleményei mellett megvolt a kitartó szorgalma, tudásanyaga és tehetsége arra, hogy tucatnyi értékes könyvet írjon és adjon az érdeklődő szakmai közönség kezébe.

Ebbe a sorba illeszkedik „*Gátszakadások a Kárpát-medencében. Gátszakadások kialakulásának körülményei*” című könyve is, mely bemutatja egyrészt az egységes vízrendszert alkotó Kárpát-medencei vízszabályozási létesítmények és a gátaikon való védekezések történetét, gyakorlatilag a kezdetektől napjainkig, másrészt ismerteti az árvizek és gátszakadások helyét, műszaki jellemzőit, kialakulásuk okait, mechanizmusát. A témában minden eddiginél bővebb adathalmaz, a 2 858 feltárt gátszakadás — melynek 50%-ka jelenlegi határaink közötti folyószakaszokon következett be — területi, időbeni statisztikai jellemzői többszáz éves idősorának kigyűjtése és feldolgozása, ezek elemzése, mind értékes hozzájárulás a térség vízkárelhárítási tevékenységének elméleti és gyakorlati megalapozásához.

A könyv kiadója az árvízvédelem hazai csúcsszerve, az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF). Az előszót az OVF főigazgató-helyettese, a vízkárelhárítást irányító Országos Műszaki Irányító Törzs (OMIT) vezetője, Láng István írta. A lektorálást Fejér László, Kisházi Konrád Péter és Pannonhalmi Miklós végezte. A fedőlap tervét Nagy Petra Panna készítette.

A 412 oldalas vaskos kötet öt (a tartalomjegyzékben számozás nélküli) fejezetre oszlik: 1. fejezet: *Az árvízvédelem feladatai* (16 oldal); 2. fejezet: *A Kárpát-medence árvíz befolyásoló természeti tényezői* (80 oldal); 3. fejezet: *Emberi beavatkozás a Kárpát-medence vízrendszerében*

(146 oldal); 4. fejezet: *Árvízvédelmi gátszakadások* (66 oldal); 5. fejezet: *Gátszakadások mechanizmusa* (88 oldal). Az egyes fejezetek oldalszáma feltételezhetően nem csak annak fontosságát, de a témával kapcsolatban a szerző által kigyűjtött adatmennyiség mértékét is jelzi. A kötet igen gazdagon illusztrált, 152 ábra, 176 kép, 95 táblázat színesíti, illetve egészíti ki a szöveget. A térképek, helyszínrajzok, diagramok, az egyes helyszíneken készült fényképek és a témához kapcsolódó személyiségek fényképei döntően színesek, esztétikusak.

A mű értékeit mutatja az óriási mennyiségben feltárt háttéradat, a hozzáértő részletes feldolgozás és az eredmények sokoldalú és magas színvonalú tudományos elemzése. Sok egyéb tényadat, korszerű ismereteket tükröző folyamatleírás mellett nagyon érdekesek a gátszakadások számának sokéves és éven belüli eloszlását bemutató grafikonok.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen 2018. február 16-án megtartott ünnepélyes könyvbemutató jelzésértékű lehet a könyv szakmai fogadtatásával kapcsolatban, hiszen az érdeklődők igen nagy számban jelentek meg a rendezvényen, és már itt elhangzott, hogy a szakterület, meghatározó fontosságú alapműve készült el.

A könyv külső, belső borítóján ugyan nem szerepel, de a szerzői előszó szerint, a könyv egy két részben kiadásra kerülő mű I. kötete, és rövidesen megjelenik a II. kötet is. Tudományos igényű kiadvány esetében szokatlan, hogy nem tartalmaz szakirodalmi jegyzéket, ez a második kötetbe került.

Engedtessek meg további két észrevétel, amit talán a II. kötet, illetve az I. kötet egy későbbi kiadásakor lehetne megfontolni. Hasznos lenne egy olyan térkép megszerkesztése, ami a táblázatokban kigyűjtött statisztikai adatok alapján — a teljes vizsgált területre, vagy külön-külön a Duna- és a Tisza-völgyére — bemutatná az egyes folyószakaszokon bekövetkezett gátszakadások helyét, számát. Célszerű lenne a szakirodalmi hivatkozások, a más szerzőktől átvett ábrák, képek, táblázatos adatok forrásának esetenkénti pótlása, pontosítása, mert ez helyenként hiányos.

Várjuk, hogy mielőbb kézbe vehessük a befejező II. kötetet és ennek elkészítéséhez, valamint a további egyéb értékes szakmai szakmai-tudományos tevékenységhez, jó egészséget, sok sikert kívánunk a Szerzőnek!

*Dr. Konecsny Károly
a Hidrológiai Közlöny szakszerkesztője*

Könyvismertetés

Dobos Irma és Scheuer Gyula: Néhány jelentős hazai és külföldi gyógyvíz hidrogeokémiája című könyvét ismerteti Scharek Péter.

Magánkiadás, Budapest, 2016. A Magyar Hidrológiai Társaság támogatásával a Társaság megalakulásának 100. évfordulójára.

297×210 mm, álló formátum, 126 oldal, részletes irodalomjegyzékkel, képekkel, ábrákkal. formátum, 126 oldal. Kiadó: Magánkiadás. Budapest, 2016.

A Szerzők a kötet előszavában megemlítik, hogy részben már publikált kutatási eredményeiket foglalják össze tematikusan.

Bevezetés részben ismertetőt olvashatunk Pekár Dezső, Réthly Antal, Péczely György, Papp Károly, Cziráky József, Buócz Károly, Pávai Vajna Ferenc, Sümeghy József, Miháلتz István, Papp Ferenc, Erdélyi Mihály, Marton Lajos, Bartkó Lajos, Tomor János, Kitaibel Pál, Hankó Vilmos, Papp Szilárd, Hegyessy László, Emszt Kálmán, Schulhof Ödön, Kunszt János, Riegler Gusztáv témába vágó munkásságáról.

Külön fejezetben olvashatunk Magyarország ásvány- és gyógyvizei kutatóiról, Kisgyörgy Zoltán, Franz Hauer, a Käss szerzőpáros és Szombathy Viktor eredményeiről.

A könyv tematikus része öt korábbi kutatási téma összefoglalóját tartalmazza:

- A Rába-völgyben a Sárvár-Rábasömjén környékének és a Duna-Tisza köze déli határmenti hévízkútjai makro- és mikroelemeinek összehasonlító vizsgálata.
- Egyes hazai konyhasós vizek makro- és mikroelemei összehasonlítva néhány külföldi előfordulással.
- Szénsavas források, kutak makro- és mikroelemvizsgálata Parádsaváron és Parad környékén.
- Komárom és Esztergom között Szlovákiával közös Duna szakaszon feltárt hévizek hidrogeokémiai összehasonlító vizsgálata.
- Karlovy Vary (Karlsbad, Csehország) világhírű gyógyforrásai.

A szerzők kiegészítő megjegyzése:

A több részletben már közölt tanulmányokat összefoglalva a Magyar Hidrológiai Társaság alapításának 100. évfordulójának tiszteletére új adatokkal kiegészítve jelent meg a könyv mindössze 100 példányban.

A könyv elkészítésének célja az ország különböző földtani képződményeiből feltárt gyógyvizek mikroelemekre is kiterjedő vizsgálata volt a hidrogeokémiai viszonyok pontosabb tisztázására.

A kötet a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet könyvtárában díjmentesen átvehető.



Mind az öt területen kutatástörténeti ismertetéssel kezdődik a fejezet, majd a források, fúrások leírása következik, kitérve a mintavételezés módjára, körülményeire.

Az ismertetés legfontosabb része mindig a kémiai vizsgálatok eredményeinek táblázatos közlése, grafikonokkal, összefoglalással az egyes hévizek kémiai állapotának, valószínű genetikájának ismertetésével.

Az adatok mennyisége és magyarázata a kötet legfontosabb érdeme, de nem felejtkezhetünk meg a területenkénti részletes irodalomjegyzékről, a kutatás fázisait bemutató fényképekről, táblázatokról sem, melyek olvasmányossá, de mellette mindig szakszerűvé teszik a művet.

*Dr. Scharek Péter
tudományos főmunkatárs
Magyar Földtani és Geofizikai Intézet*



A német **MTS GmbH** által kifejlesztett és szabadalmaztatott DINO 4 típusú szívó-kotró berendezés Magyarországon pillanatnyilag az egyetlen, mely a magas és mélyépítésben, kárelhárításban és speciális feladatok elvégzésében rendelkezésre áll az egyre szélesebb felhasználói körnek.

A berendezés paraméterei:

Hordozó jármű: IVECO TRAKKER 450 LE EURO 4 motorral

Össztömeg: 32 tonna, 4 tengelyes kivétel,

Méret: 2,5 x 3,8 x 10 m, borítási magasság: max.: 2 m

Szívási teljesítmény: 36 000 m³/h levegő, szívóerő: 550 mbar, zajszint: 86dB Szívócső: Ø 250 mm,

Max. szívási távolság/mélység/magasság/tömeg: 100 m/25 m/50 m/40 kg

Az MTS DINO 4 típusú szívó-kotró gép:

- Ideális megoldás száraz és nedves anyagok felszívására
Pl.: víz, sár, iszap, föld, kavics, szálalagok, törmelék, sít, homok, stb....
- Állandó és nagy szívóerővel rendelkezik a szabadalmaztatott irányított ciklonáramoltatás elvű leválasztó rendszer segítségével
- A szűrők folyamatos tisztítását 4,5m³/min. mennyiségű, 6 bar nyomású levegő végzi, melyet egy speciális kompresszor állít elő. Ezzel a levegővel működnek a berendezés szerszámai is (levegős lándzsa, bontó kalapács, talajlazító robbantó kalapács, pneumatikus ásó)

A szívó-kotró gép legfőbb felhasználási területei:

- Közegeltávolítás gáz, víz valamint elektromos és kommunikációs vezetékek környezetéből
- Sérült gáz és vízvezetékek kitakarása
- Csatornák, árkok, medencék, homokfogók és átemelő aknák tisztítása
- Lerakódások, üledékek eltávolítása nehezen hozzáférhető helyekről
- Tartályok és földalatti bunkerek takarítása
- Biogáz üzem fermentorban lerakodott szerves és szervesetlen anyagok eltávolítása
- Tényfeltárási munkák, kutatóárkok kialakítása
- Iszaptároló medencék, városi és kerti tavak tisztítása, homokfogók takarítása
- Szennyvízcsatorna főgyűjtő üledékmentesítése, sérült szakaszok feltárása és szabaddá tétele
- Cölöpözési munkák előkészítése
- Speciális magas és mélyépítési munkák

A szívó-kotró technológia fő gazdasági előnyei:

- A kézi földmunkánál 12x gyorsabb munkavégzés
- Fokozottan szűk és veszélyes helyen való biztonságos munkavégzés
- Gyors üzembe állítás és ürités
- A költségek radikális csökkentése
- Magas hatékonyság
- Egyetlen berendezéssel történik a felszívás és szállítás
- Sérülésmentes feltárás és anyageltávolítás



Molnár István EV.