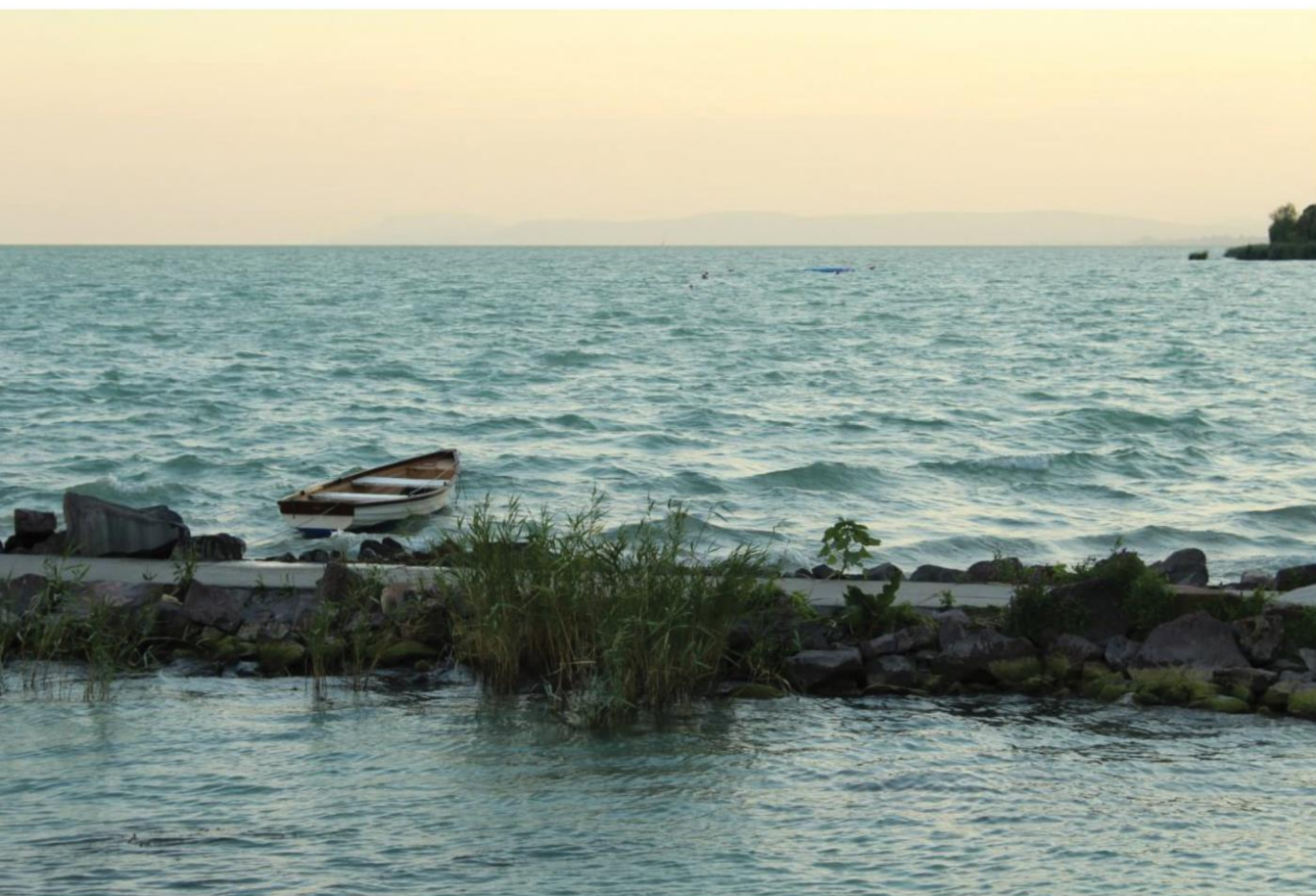

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 99. ÉVF. 2. SZÁM • 2019
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 99. NO 2. • 2019





Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

Főszerkesztő:

Fehér János

Szakszerkesztők:

Ács Éva
Konecsny Károly
Nagy László

Szerkesztőbizottság elnöke:

Szöllősi-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, 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 főtítkára
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

SZAKCIKKEK

- Varga György, Jakus Ádám, Kravinszkaja Gabriella: A közel-
múltban előfordult hidrometeorológiai szélsőségek hatása a
Balaton vízjárására 3
- Rátky István: Módszer egy mértékadó árhullám meghatározására ... 14
- Völgyesi István: Mértékadó árvízszint és talajvíz-árhullám 21
- Kozma Zsolt: A síkvidéki hidrológia és a belvív vizsgálata
folyamatalapú modellezéssel: kihívások és lehetőségek 27
- Fekete Árpád és Keve Gábor: A Magyarszéki tározó esetleges
vízhasznosítási célú üzemeléséhez szükséges optimális
térfogatának meghatározása Moran modellel 39
- Nagy-Kovács Zsuzsanna, Fleit Ernő, László Balázs és
Mártonné Czihát Katalin: Szerves mikroszennyező
anyagok viselkedése a parti szűrés folyamatában 47
- Griválszki Péter: CALTROPE – Innovatív partvédő mű
áramlástan vizsgálata szimulációs eljárásokkal 56
- Nagy László: Árvízvédelem rövid története Hollandiában 66

NEKROLÓG

- Dulovicsné dr. Dombi Mária – Szlávik Lajos és Fejér László
megemlékezése 77
- Dr. Szigyártó Zoltán – Várad József megemlékezése 78

KÖNYVISMERTETÉS

- A Magyar Hidrológiai Társaság kitüntetettjei 1917-2017 79
- Vízrajzi Évkönyv 2015 81
- Ágoston István és Fejér László: A nemzet inzellérei III.
Vízmérnökök élete és munkássága. XIX-XX. század. 83



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, 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. Flu-
idex; Geotechn. Abstr.; Meteor / Geo-
astrophys. Abstr. Sei.; Water Res. Abstr.

Index: 25374

HU ISSN 0018-1323

Contents

SCIENTIFIC PAPERS

- György VARGA, Ádám JAKUS, Gabriella KRAVINSZKAJA:
The impact of recently occurred hydrometeorological
extremes on the hydrological regime of Lake Balaton 3
- István RÁTKY: Method for determining a design flood wave 14
- István VÖLGYESI: Design flood level and groundwater-wave 21
- Zsolt KOZMA: Process based modelling of lowland hydrology
and excess water: challenges and opportunities 27
- Árpád FEKETE and Gábor KEVE: The dimensioning of
Magyarszék reservoir by Moran's model in order to
calculate the optimal size for possible water uses 39
- Zsuzsanna NAGY-KOVÁCS, Ernő FLEIT, Balázs LÁSZLÓ
and Katalin MÁRTONNÉ CZIHAT: Behaviour of organic
micropollutants in river bank filtration processes 47
- Péter GRIVALSZKI: CALTROPe – Hydrodynamic analysis
of an innovative shore protection system with simulation
methods 56
- László NAGY: Short history of the flood protection in the
Netherlands 66
- ### OBITUARY
- Mária DULOVICSNÉ DR. DOMBI – Commemoration by
Lajos Szlávik and László Fejér 77
- Dr. Zoltán SZIGYÁRTÓ – Commemoration by József Váradi.. 78
- ### BOOK REVIEW
- Laureates of the Hungarian Hydrological Society 1917-2017 ... 79
- Yearbook of the Hydrographical Service of Hungary 2015 81
- István ÁGOSTON and László FEJÉR: The Engineers of the
Nation III. Life and work of water engineers. XIX-XX.
century. 83

A közelmúltban előfordult hidrometeorológiai szélsőségek hatása a Balaton vízjárására

Varga György*, Jakus Ádám* és Kravinszkaja Gabriella**

* Országos Vízügyi Főigazgatóság, 1012. Budapest, Márvány u. 1/D. (varga.gyorgy@ovf.hu), (jakus.adam2@ovf.hu)

** Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 8000. Székesfehérvár, Balatoni út 6. (kravinszkaja@kdtvizig.hu)

Kivonat

A Balaton Közép-Európa legnagyobb tava. Felülete 600 km², átlagos mélysége 3,4 m. Jellegzetes sekély tó, aminek következtében mind mennyiségi, mind minőségi szempontból rendkívül érzékeny a környezeti változásokra. A Balaton és közvetlen környezetének idegenforgalmi jelentőség a magyar nemzetgazdaság számára kiemelt jelentőségű, Budapest után a második helyen van.

A Balaton vízháztartási viszonyainak alakulását bemutató hosszú távú idősorok rövid jellemzése és értékelése. A 2017. szeptember – 2018. április időszakban előfordult – a Balaton vízjárásában magas vízállást okozó – hidrometeorológia és hidrológiai folyamatok elemzése, értékelése, beleértve a vízszint-szabályozást szolgáló vízeresztésekkel kapcsolatos tapasztalatok áttekintését.

Kulcsszavak

csapadék, hozzáfolyás, párolgás, lefolyás, vízháztartás, vízkészlet-változás.

The impact of recently occurred hydrometeorological extremes on the hydrological regime of Lake Balaton

Abstract

Lake Balaton is the largest lake in Central Europe. Its surface is 600 km² with an average depth of 3.4 m. It is a typical shallow lake, which makes it extremely sensitive to environmental changes, both quantitatively and qualitatively. The tourist importance of Lake Balaton and its immediate surroundings is of paramount importance to the Hungarian national economy, after Budapest it is in second place

Short description and evaluation of long-term time series showing the development of the water balance of Lake Balaton. In the period from September 2017 to April 2018, the hydrometeorology and hydrological processes, which cause high water level in the water regime of Lake Balaton, were analysed and evaluated, including an overview of water drainage experiences for water level control.

Keywords

precipitation, inflow, evaporation, runoff, water balance, changes in water resources.

BEVEZETÉS

A Balaton vízháztartásának nyomon követése és értékelése alapvető feltétele a vízforgalmat meghatározó vízháztartási tényezők átfogó, megbízható ismeretének. A tó egy adott időtartamra vonatkozó vízforgalma az alábbi vízháztartási egyenlettel írható le:

$$\Delta K = (C+H) - (P+L+V_h)$$

ahol,

C a tó felületére hulló csapadék

H hozzáfolyás a tóhoz

P párolgás a tó felületéről

L lefolyás a tóból (szabályozott vízeresztés a Sió-zsilipen át)

V_h vízfelhasználás a tóból

ΔK a tó vízkészlet-változása

ΔK_T a tó természetes vízkészlet-változása: ΔK_T = (C+H) – P

A Balaton vízháztartásának elemzéséhez 1921 óta állnak rendelkezésre ellenőrzött, megbízhatónak tekinthető havi és évi bontású vízháztartási mérlegek. Ez azt jelenti, hogy vízháztartási tényezőnként jelenleg 97 éves (1921-2017) idősorokkal rendelkezünk. Az 1. táblázatban összefoglaltuk a tó vízforgalmát meghatározó vízháztartási tényezők átlag- és szélsőértékeit.

1. táblázat. A Balaton vízháztartási tényezőinek sokévi (1921-2017) átlag- és szélsőértékei

Table 1. Average and extreme values of many years (1921-2017) of the water balance factors of Lake Balaton

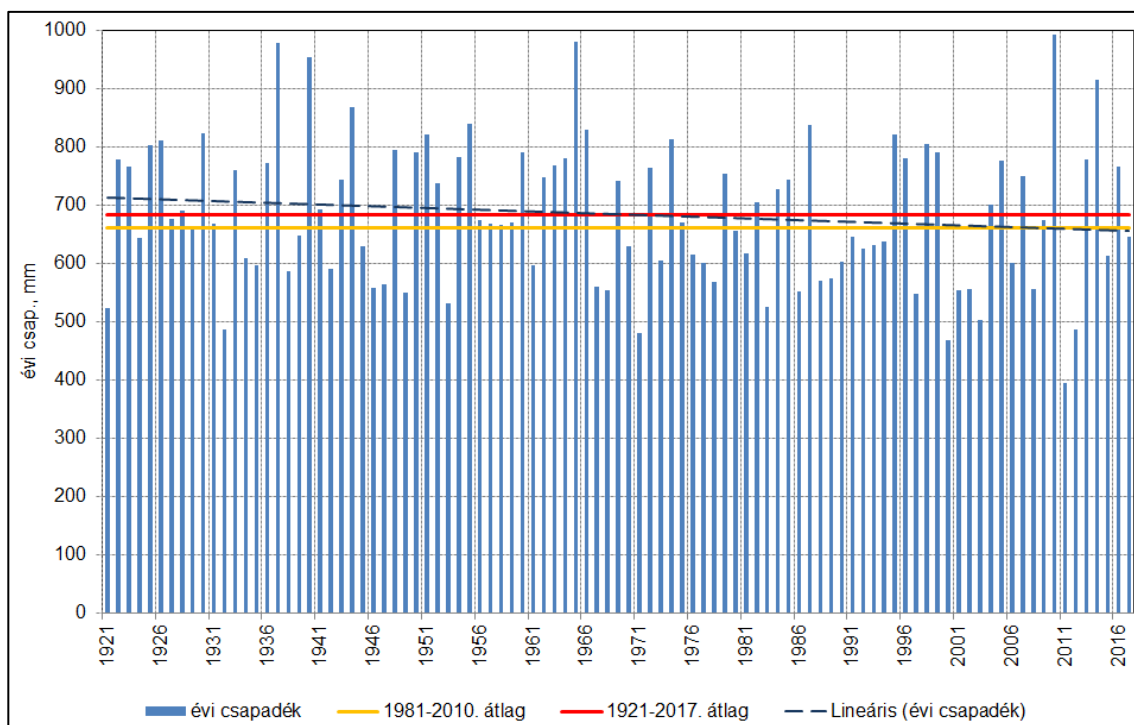
Vízháztartási tényező	Minimum	Átlag	Maximum
	tómm/év*		
A tófelületre hulló csapadék (C)	309	617	929
Hozzáfolyás a tóhoz (H)	236	851	1 974
Párolgás a tó felületéről (P)	723	896	1 073
A tó természetes vízkészlet-változása (ΔK _T)	-281	572	2 031
Lefolyás a tóból (L)	0	553	2 031
Vízfelhasználás a tóból (V _h)**	11	28	51

* 1 tómm ~ 600 000 m³ vízmennyiség.

** A közölt értékek az 1971-2017. időszakra vonatkoznak.

Megállapítható, hogy a természeti tényezők által meghatározott vízháztartási tényezők közül a legkisebb változékonyságot – a maximum és a minimum hányadosa alapján – a párolgás (P), a legnagyobbat a hozzáfolyás (H) mutatja.

A Balaton – sokévi átlagban – lefolyásos tó, az átlagos évi lefolyás mintegy 90%-a a tóra hulló évi átlagos csapadékmennyiségnek. A tó lefolyása a Sió-csatornán keresztül 1863 óta szabályozott. A tóból történő vízlevezetés mértékét és időtartamát a mindenkor vízgazdálkodási igények és a vízszint-szabályozási rend együttesen határozzák meg (Bendefy 1968, Magyar Tudománytár 2002, Virág 1997, 2005, Varga 2005, KDT VIZIG BVK 2006).



1. ábra. A Balaton-vízgyűjtőre hulló csapadék évi összegei (1921-2017) (Adatforrás: OMSZ)
 Figure 1. Annual sums of precipitation falling on the Balaton Basin (1921-2017) (Data source: OMSZ)

A BALATON-VÍZGYŰJTŐ ÉS A BALATON EGYES HIDROLÓGIAI ÉS HIDROMETEOROLÓGIAI PARAMÉTEREI HOSSZÚ IDEJŰ ALAKULÁSÁNAK JELLEMZÉSE

A Balaton-vízgyűjtőre hulló csapadék

A Balaton-vízgyűjtőre hulló évi csapadék mennyiségének meghatározása 25 csapadékmérő állomás mérési adataiból képzett területi átlag alapján történik. Az 1. ábrán szemléltetjük a Balaton-vízgyűjtőre érkező csapadék évi összegeit.

A teljes időszakra (1921-2017) vonatkozó átlag 684 mm/év, a szélsőértékeket – két egymást követő évben (!) –, a minimumot (395 mm) 2011-ben, a maximumot (992 mm) 2010-ben jegyezték fel (Baranyi 1975, K+F Consulting Kft. 2015).

A Balaton vízgyűjtő területére érkező csapadékmennyiség jellemzéséhez alkalmaztuk a WMO ajánlását (WMO, 2018), ami a meteorológiai paraméterek – évtizedenként továbbléptetett – 30 éves átlagértékeinek alakulása alapján javasolja a hosszú távú változások bemutatását és értékelését. Ennek szemléltetésére állítottuk össze az 1. táblázatot.

Az 1. ábra szerint az 1960 évek közepétől – a korábbi időszakokhoz képest – nagyobb számban fordultak elő az átlagosnál szárazabb évek.

Ez a jelenség halmozódó vízhiányt eredményez a vízgyűjtőn, ami – a hozzáfolyás tartós csökkenése miatt – kedvezőtlenül érinti a tó vízforgalmát, tartós vízkészlet- és vízszintsökkenést okoz.

2. táblázat. A Balaton vízgyűjtő területére hulló évi csapadék 30 éves átlagértékei

Table 2. Average annual rainfall of 30 years falling into the Balaton catchment area

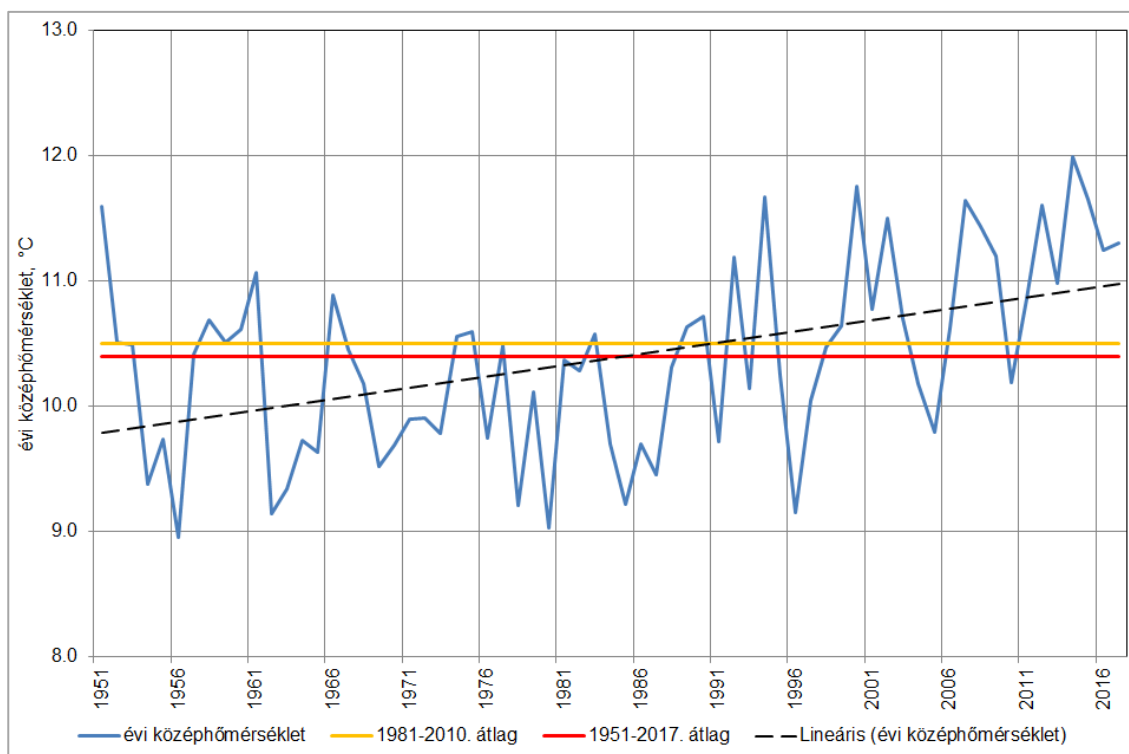
Időszak	Átlagos évi csapadékmennyiség (mm/év)
1921-1950	700
1931-1960	701
1941-1970	705
1951-1980	697
1961-1990	672
1971-2000	658
1981-2010	662

Külön kiemelésre érdemes a 2000 és 2003 közötti 4 éves időszak. Ekkor a négy év alatt felhalmozódott, a sokévi átlaghoz viszonyított összegzett csapadékhiány (653 mm) megközelítette az egyéves átlagos csapadékmennyiségnek megfelelő értéket és 4 egymást követő éven keresztül csaknem 80 év után az addig észlelt legszélsőségesebb deficit vízhiányt okozta.

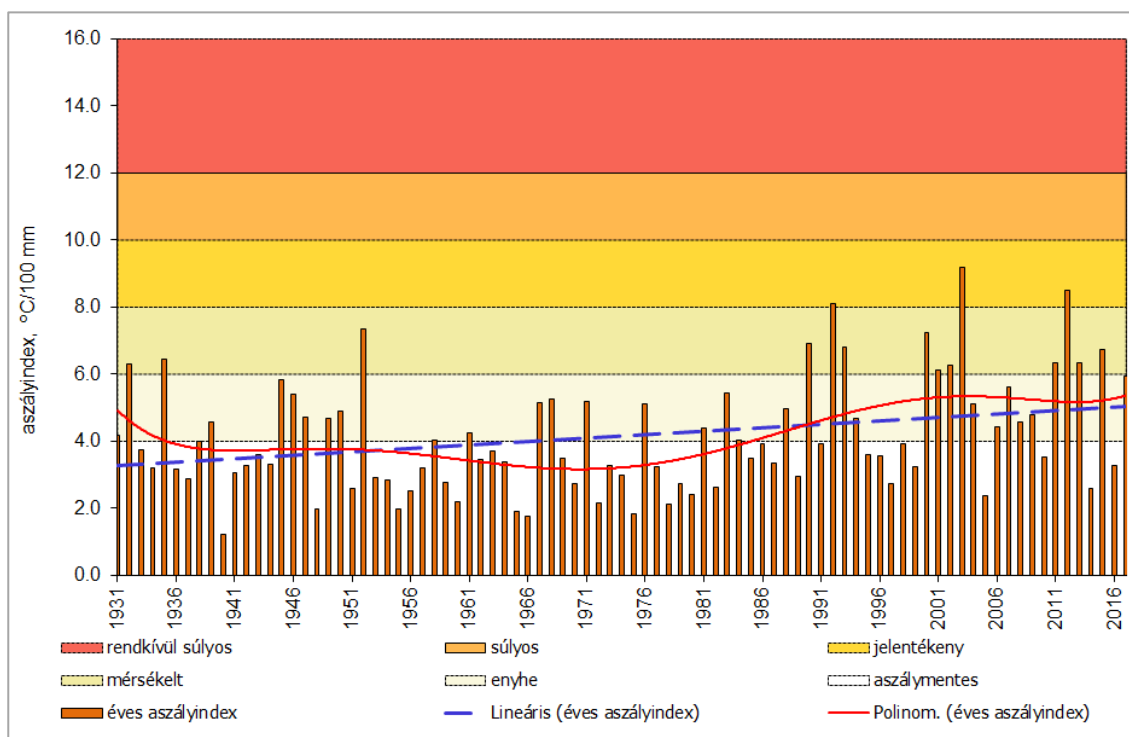
A léghőmérséklet alakulása a Balaton vízgyűjtő területén

A Balaton-vízgyűjtő évi középhőmérsékletének – területi átlagban – alakulását 4 állomás adatainak felhasználásával határoztuk meg az 1951-2017 időszakra. A vízgyűjtő sokévi (1951-2017) átlaghőmérséklete: 10,4 °C.

A vízgyűjtő évi középhőmérsékleteinek idősor trendje 99%-os szinten statisztikailag szignifikáns. Az erőteljes melegedés az 1980-as évek közepétől kezdődött el a tó vízgyűjtő területén (2. ábra).



2. ábra. A Balaton-vízgyűjtő éves átlagos léghőmérsékleteinek időszora (1951-2017) (Adatforrás: OMSZ, VITUKI, OVf)
 Figure 2. Time series of annual average air temperatures in the Balaton Basin (1951-2017) (Source: OMSZ, VITUKI, OVf)



3. ábra. A Pálfai-féle évi aszályindex területi átlagának alakulása a Balaton vízgyűjtő területén, 1931-2017
 (Adatforrás: ATIVIZIG, Szeged)

Figure 3. The regional average of Pálfai's annual drought index in the water catchment area of Lake Balaton, 1931-2017
 (Data source: ATIVIZIG, Szeged)

A Pálfai-féle aszályindex alakulása a Balaton vízgyűjtő területén

A Pálfai-féle évi aszályindex (Pálfai 2004) Balaton-vízgyűjtőre vonatkozó területi átlagait 6 állomás adatainak felhasználásával határoztuk meg. Az 1931-2017 időszakra vonatkozó idősort a 3. ábrán szemléltetjük.

A tó vízgyűjtő területén az aszályhajlam lassú, fokozatos erősödése állapítható meg (3. ábra). Ez különösen az 1980-as évek második felétől mutatkozik határozottan, amit a mérsékelt és jelentékeny aszályal jellemezhető évek számának és gyakoriságának – a korábbi időszakhoz viszonyítva – feltűnő növekedése jelez. (K+F Consulting Kft. 2015).

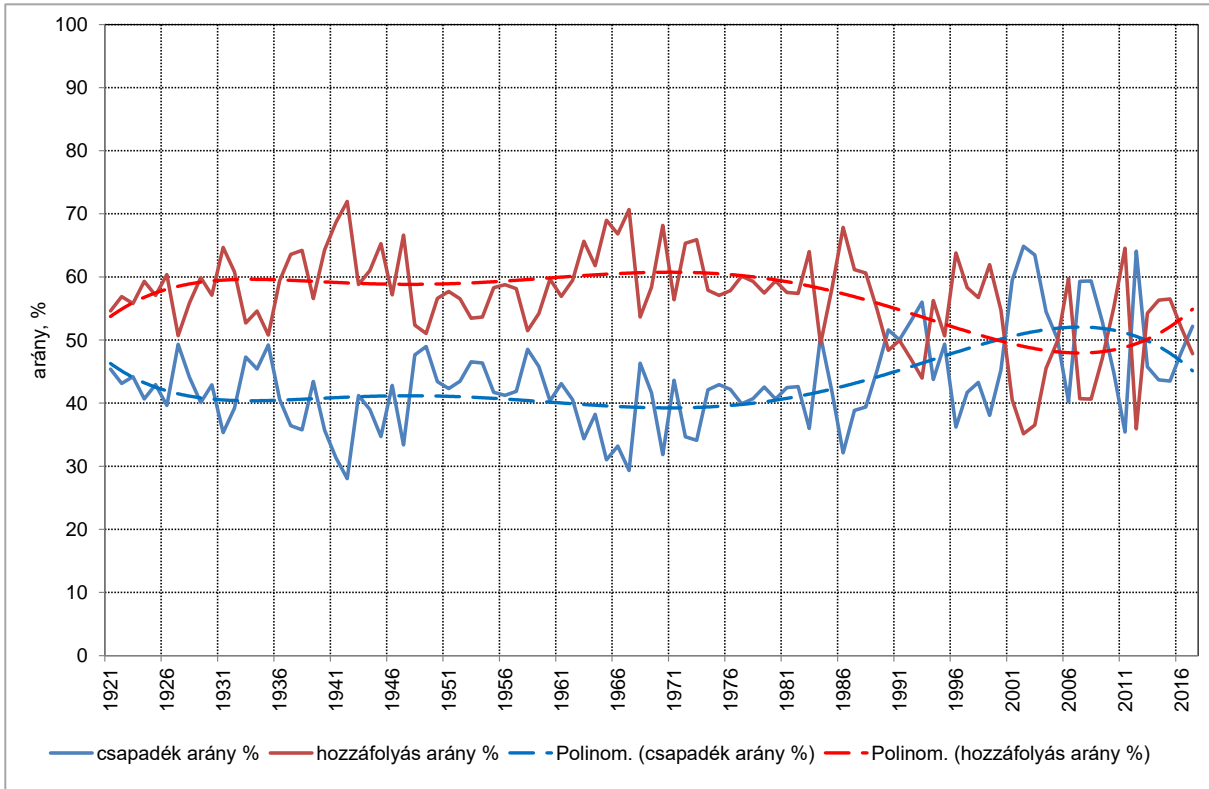
A tó vízmérlegének bevételi oldalán a tóra hulló csapadék és a tóhoz történő hozzáfolyás arányának időbeli alakulása

A Balaton vízháztartási mérlegének bevételi oldalát két vízháztartási tényező, a tó felületére hulló csapadék és a tóhoz történő hozzáfolyás összege alkotja.

A vízmérleg bevételi oldalán ezen két vízháztartási tényező arányának időbeli alakulását már korábban is vizsgálták (Baranyi 1975, KDT VIZIG 1993...2017).

Az 1980-as évek elejéig – viszonylag jelentős szórás mellett – a tóra hulló csapadék, az évi változékonyságot kiegyenlítve mintegy 40%-os, a tóhoz történő hozzáfolyás az évi változékonyságot kiegyenlítve mintegy 60%-os arányban szerepelt a vízmérleg bevételi oldalán (K+F Consulting Kft. 2015, VITUKI 2002, 2003).

Ezt követően ezek az arányok megváltoztak, időként helyet cseréltek, kiegyenlített értékük egymáshoz közelebb került (4. ábra). A jelenség magyarázatára tudományos igényű, okfeltáró vizsgálat ez idáig nem készült.



4. ábra. A csapadék és a hozzáfolyás arányának időbeli alakulása a Balaton-vízmérleg bevételi oldalán, 1921-2017

Figure 4. The evolution of precipitation and flow rates over time on the income side of the Balaton water balance, 1921-2017

Valószínűsíthető, hogy a tapasztalt változások lehetséges okai között a csapadékviszonyok változása és az emelkedő hőmérséklet következtében a vízgyűjtőről történő növekvő területi párolgás miatt (is) adódó lefolyás-csökkenés (a Balaton vízforgalma szempontjából hozzáfolyás-csökkenés) szerepet kaphat.

A lefolyási tényező alakulása a Balaton vízgyűjtő területén

A tó vízgyűjtő területéről történő évi lefolyás és az ugyanerre a területre érkező évi csapadék hányadosaként értelmezett évi lefolyási tényező 97 éves idősorát is vizsgáltuk.

Megállapítható, hogy a lefolyási tényező időbeli változását a csökkenő irányultság jellemzi (5. ábra). Ennek az okairól sem készült még részletes, tudományos igényű és részletességű elemzés. Valószínűsíthető, hogy a lefolyás szignifikáns csökkenésének, a tó vízmérlegét ismertető alfejezetben megjelölt okoknak, és a vízgyűjtőn bekövetkezett területhasználat tér- és időbeli változásainak (pl. az erdőszűrés változása, újonnan létrehozott szabad vízfelületek növekedése) együttes

hatása érvényesülhet (VITUKI 2002, Varga 2005, K+F Consulting Kft. 2015).

A Balaton természetes vízkészlet-változása (a csapadék, a hozzáfolyás és a párolgás előjelhelyes összege)

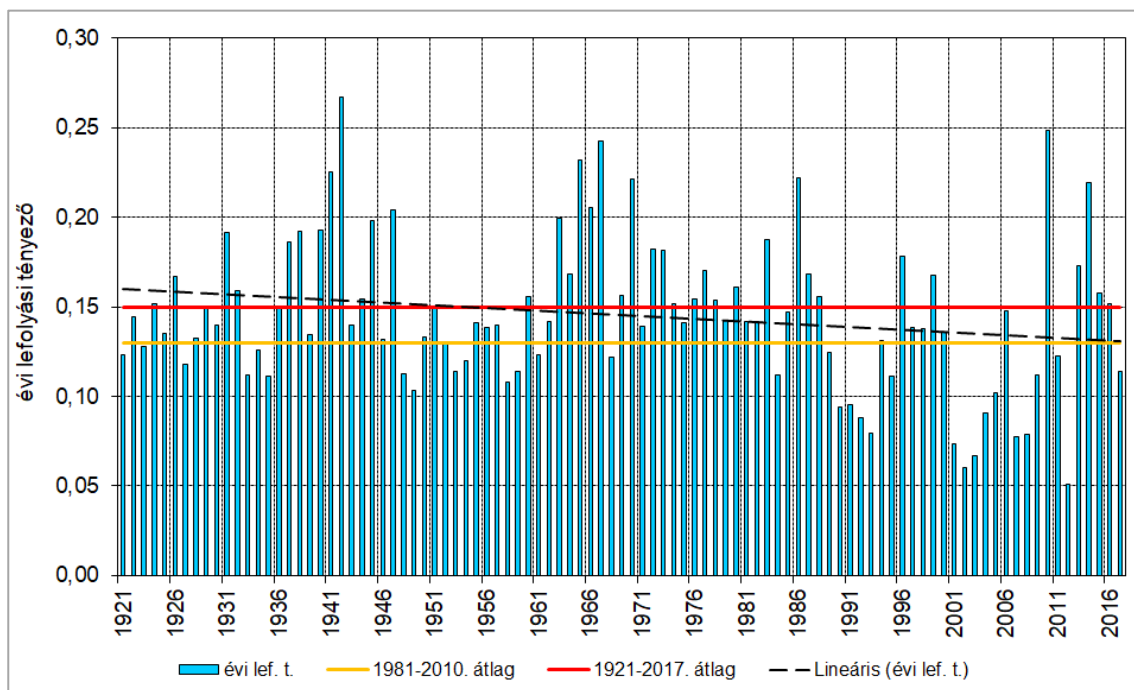
Egy tó vízháztartásában természetes vízkészlet-változásként a természeti tényezők által meghatározott vízháztartási tényezők (a Balaton esetében a tóra hulló csapadék, a tóhoz történő hozzáfolyás, valamint a vízfelületről történő párolgás) algebrai összegét értjük. Ez a számított mutatószám integráltan jellemzi a tó vízháztartásának alakulását.

Vizsgáltuk a Balaton évi természetes vízkészlet-változásának idősorát is.

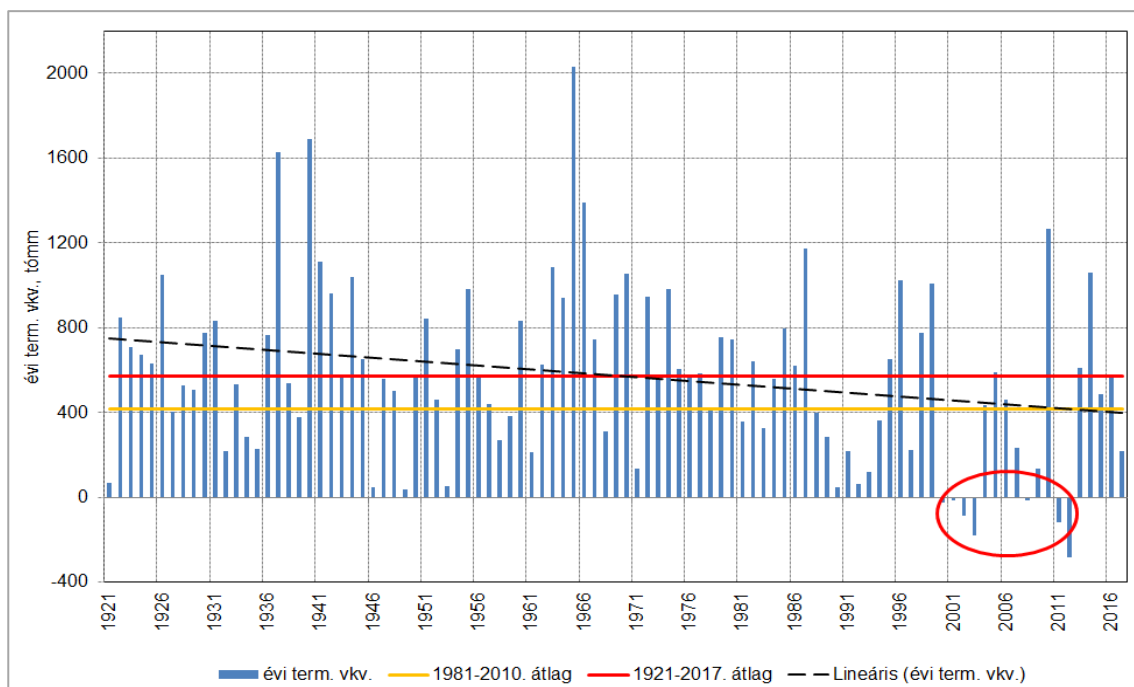
Szembetűnő az 1970-es évek közepétől jellemző erőteljes csökkenő irányultság, amely feltűnő hasonlóságot mutat a hozzáfolyás ugyanezen időszakban bekövetkezett változásával (6. ábra). További kiemelésre méltó tény az, hogy az 1921 és az 1999 közötti időszakban a természetes vízkészlet-változás évi összegének minden évben pozitív

volt az előjele. Ez azt jelenti, hogy a tó természetes vízbevétele (csapadék+hozzáfolyás) több volt, mint a természetes vízleadás (párolgás) értéke. Ezt követően a 2000 és 2017 közötti 18 éves időszakban 7 olyan év fordult elő, amikor a természetes bevétel kisebb volt, mint a természetes kiadás!

Ezek a tények figyelmeztető jelekként értékelhetők a tó vízforgalmában, arra utalva, hogy elsősorban a természeti tényezők kedvezőtlen irányú változásai (melegedés, szárazodás) meghatározóan hozzájárulhatnak a tó vízháztartásának a deficitesség irányába való fokozatos eltolódásához.



5. ábra. Az évi lefolyási tényező alakulása a Balaton vízgyűjtő területén, 1921-2017
5. Figure. Development of the annual runoff factor in the Balaton catchment area 1921-2017



6. ábra. A Balaton évi természetes vízkészlet-változása, 1921-2017
Figure 6. Natural water resources change in Balaton, 1921-2017

A Balaton természetes vízkészlet-változásának jellemzéséhez is figyelembe vettük a WMO ajánlás (WMO 2018), ami a meteorológiai (és hidrológiai) paraméterek – évtize-

denként továbbléptetett – 30 éves átlagértékeinek alakulása alapján javasolja a hosszú távú változások bemutatását és értékelést (2. táblázat).

3. táblázat. A Balaton évi természetes vízkészlet-változásának 30 éves átlagértékei

Table 3. The 30-year average values of the natural water change in Balaton for the year

Időszak	Átlagos évi természetes vízkészlet-változás (tómm/év)
1921-1950	645
1931-1960	623
1941-1970	698
1951-1980	707
1961-1990	696
1971-2000	532
1981-2010	416

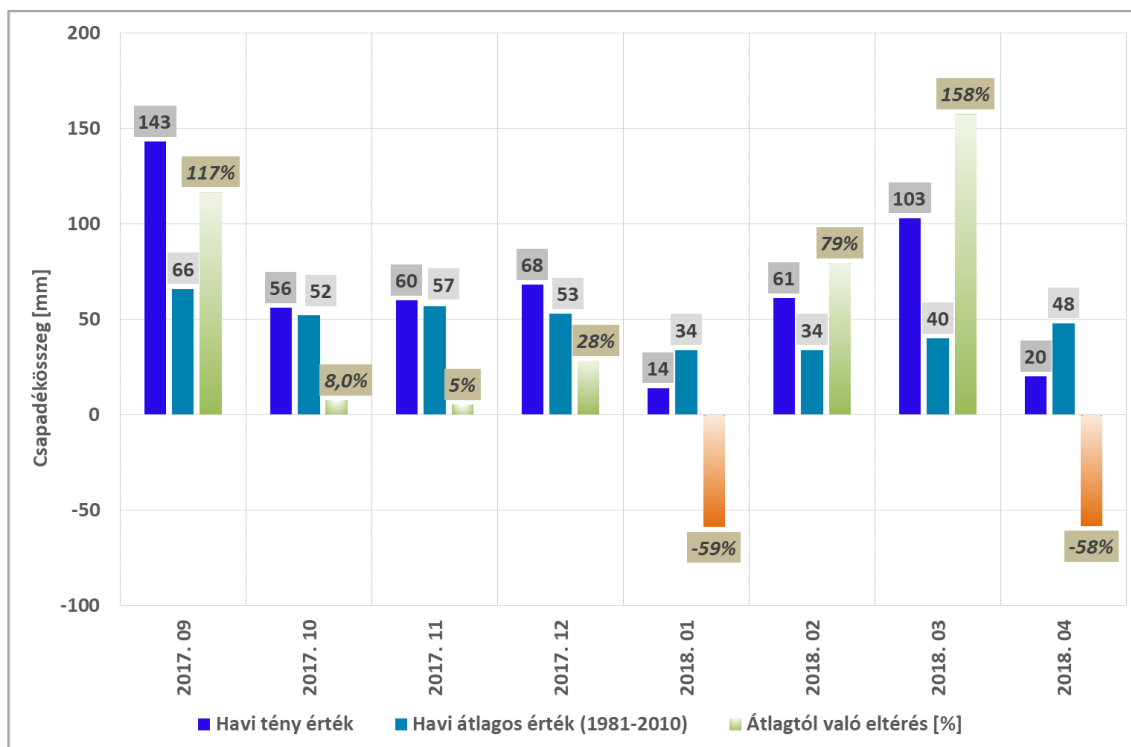
SZÉLSŐSÉGEK VONZÁSÁBAN - A BALATON 2018 TAVASZI MAGAS VÍZÁLLÁSÁNAK OKFELTÁRÓ HIDROLÓGIAI ÉRTÉKELÉSE (ESETTANULMÁNY)

A szélsőséges meteorológiai és hidrológiai tényezők hatására a Balaton átlagvíz állása 2018 februárjában (2018. február 3.: 122 cm) átlépte a jelenleg érvényben lévő vízszint-szabályozási határozatban rögzített, az adott időszakra meghatározott maximális szabályozási szintet (a téli hidrológiai félévben (november-április): 115 cm +5% = 121

cm; a hidrológiai nyári félévben (május-október): 120 cm + 5% = 126 cm). A vizsgált időszakban előforduló maximális víz állás (2018. április 1.: 133 cm) kialakulásához vezető tényezők elemzéséhez 2017 szeptemberéig tekintünk vissza. Tesszük ezt azért, hogy figyelembe vegyük a Balaton-vízgyűjtő „emlékező képességét”, a megelőző időszak hidrológiai állapotát.

A Balaton vízgyűjtőre hulló csapadék alakulása (2017. szeptember – 2018. április)

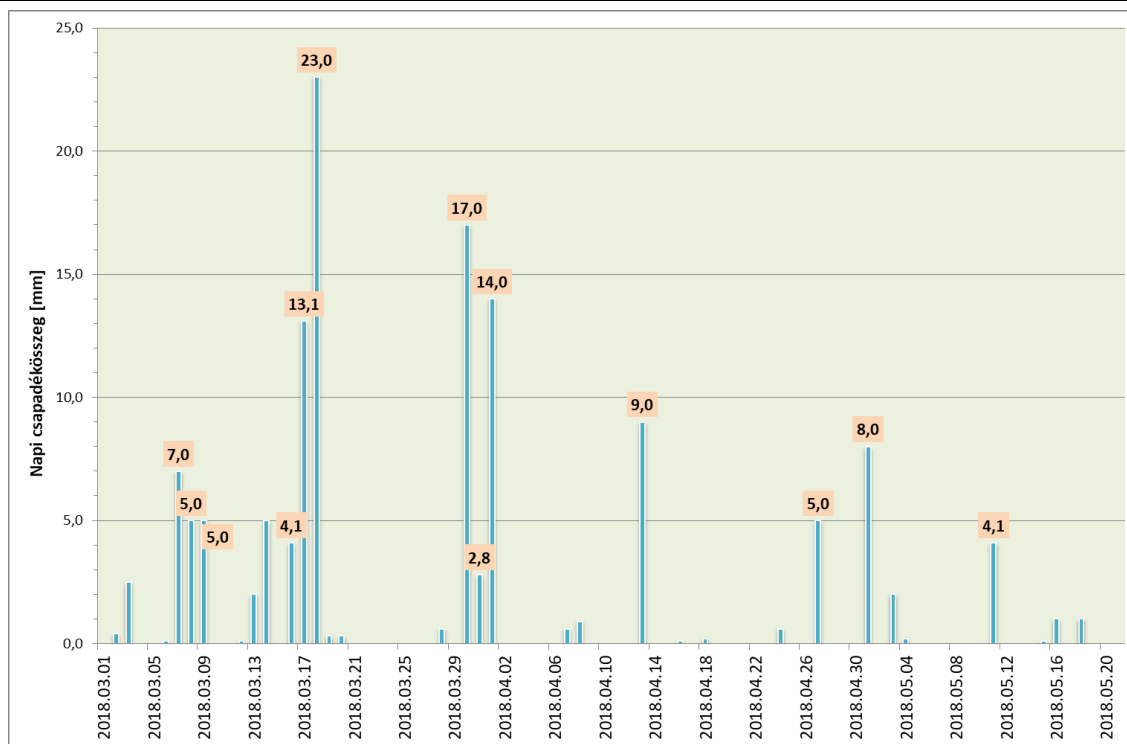
A Balaton-vízgyűjtőre hulló csapadék havi összegeinek (7. ábra) vizsgálata alapján megállapítható, hogy a 2017. szeptember – 2018. április közötti időszakban két hónap kivételével (2018. január és április) a 30 éves (1981-2010) havi éghajlati átlagértéknél több csapadék érkezett a vízgyűjtőre. Ebből a sorból kiemelkedik 2017 szeptembere, amikor az éghajlati átlagértéknél 117%-kal több csapadék hullott a területre, ellensúlyozva ezzel 2017 nyarának vízhiányát. Továbbá 2018 februárjában (79%-os csapadéktöbblet) és márciusában még nagyobb pozitív anomáliát (158%) tapasztalhattunk az éghajlati átlagértékekhez képest. A hosszú távú, 1921 óta rendelkezésre álló adatsorok alapján a február-március a második legcsapadékosabb időszaknak bizonyult.



7. ábra. A Balaton-vízgyűjtőre hulló csapadék tényleges havi (2017.09. - 2018.04.) és átlagos (1981-2010) értékei
Figure 7. Actual Month of Rain Falling on the Balaton Basin and mean (1981-2010) values

Az éghajlati átlaghoz képest jelentős pozitív anomáliával rendelkező időszakok hónapon belüli csapadékeseményei időben nagy variabilitást mutatnak, jelezve ezzel a szélsőségek jelenlétét. 2018 márciusában három egymást követő nap során hullott le eső formájában a sífoki március havi átlagérték 134%-a (8. ábra). Ezen időszakra jel-

lemző, hogy több esetben egymást követő 2-3 nap alatt érkezett a vízgyűjtőre jelentős csapadékmennyiség. A talaj telítettségének növekedésével a vízgyűjtőn a beszivárgás intenzitása fokozatosan csökkent, megnövelve ezáltal a vízgyűjtőről történő felszíni lefolyást, ami a tó szempontjából hozzáfolyásként jelentkezik.



8. ábra. Siófokon mért napi csapadékösszegek – 2018. március 1. – május 22

Figure 8. Daily precipitation in Siófok – 1 March – 22 May 2018

A Balaton-vízgyűjtő hidrológiai állapotértékelése

Az állapotértékelés során a napi középhőmérséklet meghatározásához felhasználtuk a vízgyűjtőn található meteorológiai (OMSZ) állomások által mért hőmérséklet adatokat.

A Zalából a Balatonba érkező vízhozam napi átlagai a fenékpusztai ultrahangos vízhozam mérő adatait tükrözik. A tó vízgyűjtő területének többi részéről érkező hozzáfolyás becslésénél ultrahangos vízhozam mérők adatait és a mérőszelvények vízállás adataiból képzett vízhozam értékeket használtuk fel. A 2018. február 7. és 2018. május 1. közötti időszakban napi rendszerességgel elkészített vízállás-előrejelzések relatív és abszolút hibáinak elemzése alapján elmondható, hogy a vízmérleg-egyenletben a hozzáfolyás becslése nem terhelt jelentős hibával. A vízállás előrejelzésben időnként jelentkező számottevő eltéréseket a csapadék-előrejelzések bizonytalanságai okozták.

A hidrológiai események megértéséhez alapvetően négy fontos időszak vizsgálata válik szükségessé, melyet a 9. ábrán szaggatott lehatárolással jeleztünk.

Az első időszakban - 2018. február végén - egy erős, sarkvidéki eredetű hidegbetörés érte el hazánkat, aminek hatására a léghőmérséklet jelentősen visszaesett. A február 25. – március 5. közötti időszakban a Balaton-vízgyűjtő napi középhőmérséklete tartósan negatív tartományban maradt. Ezen időszak alatt a csapadék hó formájában hullott, megnövelve a vízgyűjtő hóban tárolt vízkészletét. A hideg időjárásban a mélypont 2018. március 1-én következett be (napi középhőmérséklet: -11,1 °C), amit igen intenzív felmelegedés és olvadás kö-

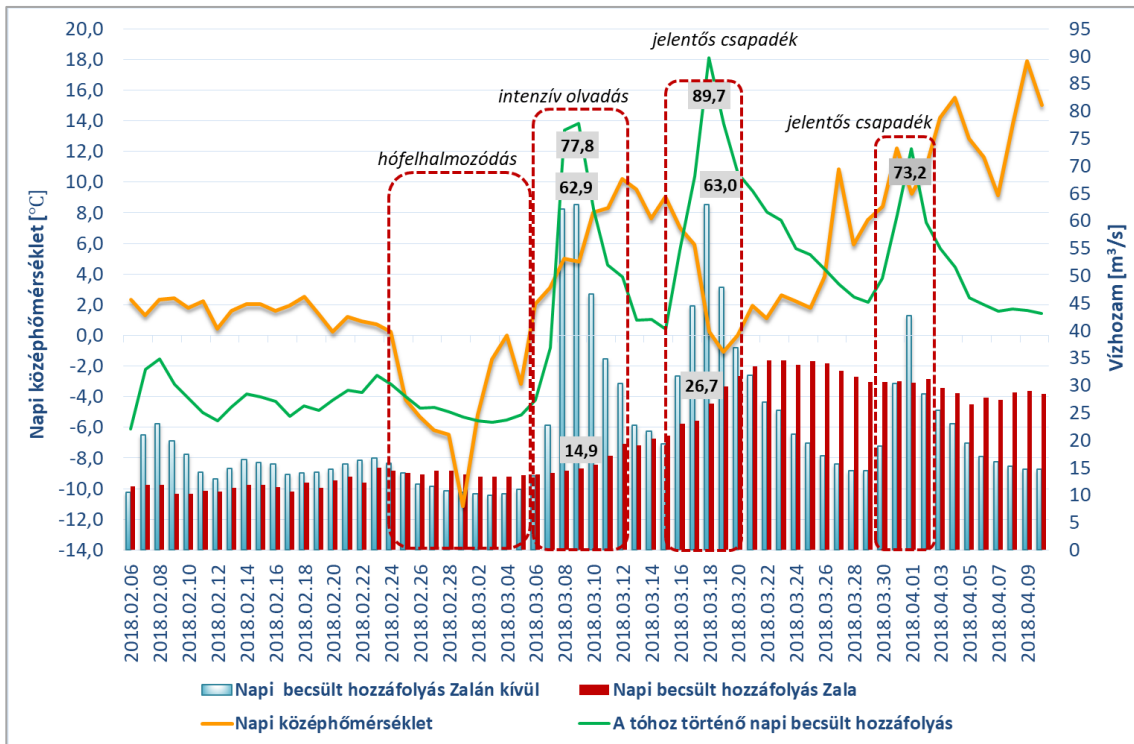
vetett. Fontos megjegyezni, hogy a hidegbetöréssel nem járt egyidejűleg a csapadék érkezése, így a talaj felsőbb rétegei átfagytak, megszüntetve ezzel a talajba történő további beszivárgás lehetőségét. Az intenzív olvadás kezdetén az Országos Vízjelző Szolgálat (OVSZ) adatai alapján 30-40 mm hóvízgyenyértékben kifejezhető vízkészlet volt a vízgyűjtőn.

A második időszakot a hirtelen és jelentős melegezés jellemezte (az intenzív olvadási időszak napi középhőmérsékleti maximuma 2018. március 12-én: 10,2 °C), aminek következtében intenzív olvadás indult meg (9. ábra). A léghőmérséklet az éjszakai órákban is pozitív tartományban alakult, ami az olvadást nem tudta számottevően csökkenteni. A hóolvadás szempontjából kívánatos nappali olvadás-éjszakai visszafagyás állapota nem állt elő. A vízgyűjtőn felhalmozódott hőmennyiség 3-4 nap alatt teljes mértékben elolvadt. Az olvadásvíz a fagyott felső talajréteg miatt kezdetben teljes mértékben, majd az idő előrehaladtával fokozatosan csökkenő mértékben felszíni lefolyással érte el a Balaton medrét és növelte vízkészletét.

Az intenzív olvadás következtében a Zalán, valamint a vízgyűjtő többi részéről érkező hozzáfolyás napi becslült értéke drasztikusan megemelkedett. A hirtelen meginduló nagymennyiségű víz hatására a déli parti vízfolyások közül a Sári-csatorna Marcali-Bize mérőszelvényén LNV-t meghaladó vízállás (2018.03.08.: 106 cm) alakult ki. Az intenzív felmelegedéssel és olvadással járó időszak becslült csúcs vízhozama 2018.03.09-én 77,8 m³/s-nak adódott. Ekkor a Zalából érkező becslült hozzáfolyás 14,9 m³/s, míg a vízgyűjtő terület többi részéről érkező hozzáfolyás 62,9 m³/s volt.

A hozzáfolyás értékek vizsgálata alapján megállapítható, hogy a Zala vízgyűjtője és a Zalán kívüli vízgyűjtő egészen más karakterisztikával rendelkezik. A Zalán elinduló árhullám a Kis-Balaton Vízügyi Rendszer hatására ellapul és jelentős késleltetési idővel éri el a fenékpusztai torkolatot. Mindezek következtében

a fenékpusztai hozzáfolyás értékek lassú, de tartós növekedést mutatnak. Ezzel ellentétben a Zalán kívüli hozzáfolyás mértékét az intenzív olvadás idején, (már az esemény bekövetkeztekor, néhány órán belül) határozott növekedés majd rövid idő alatt gyors csökkenés jellemzi.



9. ábra. A Balaton-vízgyűjtő napi középhőmérséklete és a Zalán, valamint a Zalán kívül érkező hozzáfolyás napi becsült értéke (2018.02.07. - 2018.04.10.)

Figure 9. The daily mean temperature of the Balaton catchment area and the estimated daily value of the inflow from Zala and outside Zala River (07/02/2018 - 10/04/2018)

Az ismertett tényezők hatására a vízgyűjtőt már magas talajtelítettségi értékek jellemezték a harmadik időszak kezdetére, a március 16-18. között érkező nagycsapadékokat megelőzően. Emiatt az ezen időszakban lehullott csapadék döntő hányada szintén felszíni lefolyás útján hagyta el a vízgyűjtőt. Az intenzív olvadásnál nagyobb, mintegy $90 \text{ m}^3/\text{s}$ -os (március 18.) becsült csúcs vízhozammal jellemezhető a március 16-21. közötti időszak. A Zalán kívül érkező becsült hozzáfolyás hasonlóan alakult, mint az intenzív olvadás során. A Zalán ekkora már magasabb vízhozam értékek voltak jellemzők, mert a korábban kialakult árhullám elérte a fenékpusztai torkolatot, így jelentősen megnövelte a hozzáfolyást (március 18.: $26,7 \text{ m}^3/\text{s}$).

A következő jelentős csapadék március végén, április elején érkezett a vízgyűjtőre. A betorkolló vízfolyásokon levonuló árhullámok következtében átmenetileg újra jelentősen megnőtt a Balatonhoz történő becsült hozzáfolyás. A március 21-30. közötti időszakban a Balaton-vízgyűjtőn a léghőmérséklet jelentősen emelkedett, a hidrometeorológiai tényezők ideálisak voltak, elősegítve a talaj nedvességtartalmának csökkenését. Ezen hatás mérsékelte a hónap végén lehullott nagycsapadék felszíni lefolyását, a becsült csúcs vízhozam mégis $70 \text{ m}^3/\text{s}$ fölött alakult. Ennek okát a Zala vízrendszerében lezajló hidrológiai folya-

matok lomhaságával magyarázhatjuk. A megelőző hidrometeorológiai események következtében létrejövő árhullámok a vízrendszeren való lassú áthaladás során szuperponálódtak és tartósan magas, $30 \text{ m}^3/\text{s}$ közeli vízhozamokat eredményeztek az utolsó időszakra a fenékpusztai torkolatnál.

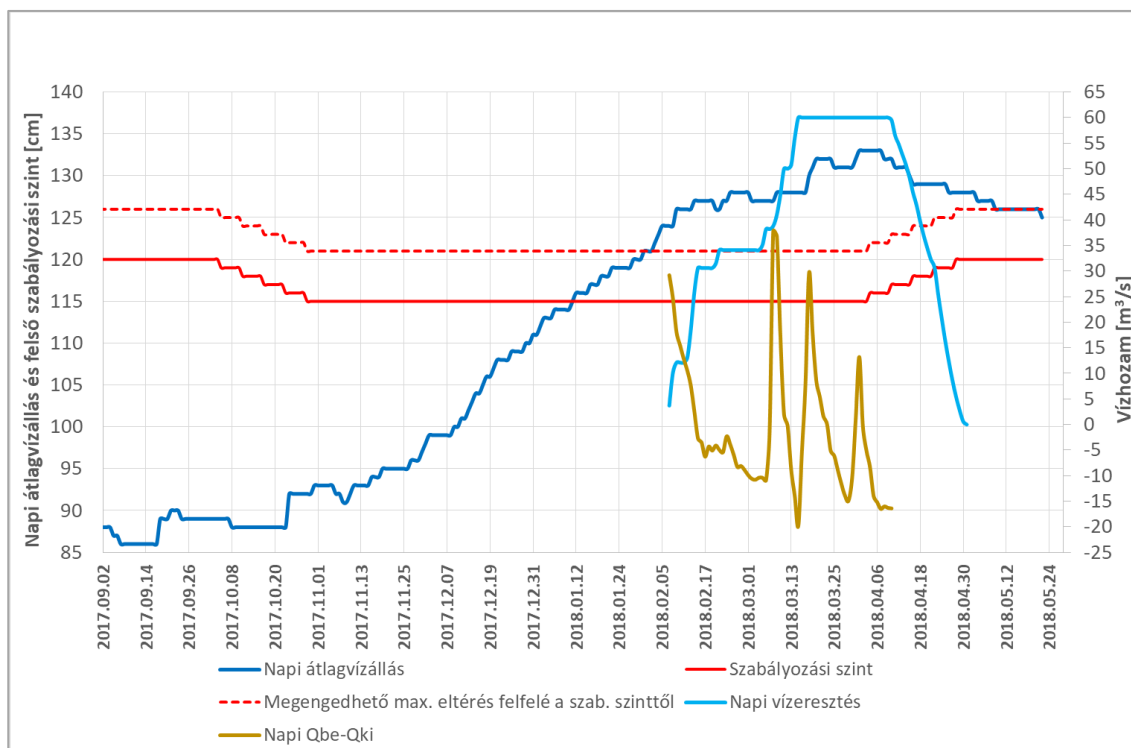
A Balaton vízszint-szabályozása, az átlagvízállás alakulása

A Balaton átlagvízállásán Tihany-rév és Balatonakali vízmércéken a reggel 7 órát megelőző 24 óra, órás gyakoriságú méréseinek az átlagát értjük. Az alkalmazott átlagvízállás számítási módszer kiküszöböli a szél hatására fellépő jelentős vízmozgások (hossz- és keresztirányú kilendülés, hullámozás) vízállásra gyakorolt hatását.

A Balaton napi átlagvízállásának adatsorát (10. ábra) vizsgálva láthatjuk, hogy 2017 szeptemberének csapadékos időjárása nem járt együtt a vízállás jelentős növekedésével. Ennek oka, hogy a szeptemberi csapadék a megelőző nyári időszak területi vízhiányát pótolta a vízgyűjtőn, ezáltal csak kis része került felszíni lefolyással a Balatonba. Továbbá szeptember hónapban az éghajlatváltozás következtében, egyre meghatározóbb vízháztartási tényezőnek tekinthető, a vízgyűjtőn végbemenő evapotranszpiráció, valamint a tófelületről történő párolgás.

Az átlagvízállás 2017. október végétől határozottan emelkedni kezdett, ami illeszkedett a hazai viszonyaink között a sekély tavakat jellemző ősz végén és télen tapasztalható átlagos vízjárási menetbe. A hatályos vízszint-szabályozási határozatban rögzített szabályozási szintet (115 cm + 5% = 121 cm) 2018. február 3-án lépte

át a tó átlagvízállása. A Sió-zsilipen történő, vízszint-szabályozási célú vízeresztés február 7-én kezdődött meg, 124 cm-es átlagvízállás mellett. A Sió-zsilip műszaki állapota és a víz levezetésére szolgáló Sió-meder állapota a vízeresztés mértékének lassú és fokozatos emelésére nyújtott lehetőséget.



10. ábra. A Balaton napi átlagvízállása és vízszint-szabályozása a 2017.09.01.- 2018.05.22. közötti időszakban
Figure 10. Average daily water level and water level control of Lake Balaton from 01.09.2017 to 22.05.2018

Az ismertett intenzív hóolvadás előtti időszakban a vízeresztés mértéke 34,1 m³/s volt. Ez az érték átmenetileg egy szinten tartó, igen lassú apadást előidéző állapotot tudott biztosítani. A Sió-zsilipen levezetett vízhozam és a vízgyűjtő területéről történő hozzáfolyás közötti különbség 10 m³/s-nak adódott. Az erős felmelegedés hatására a zsilip további nyitása vált szükségessé. Március 9-én a hóolvadás következtében kialakuló csúcs vízhozam idején a tóhoz történő hozzáfolyás 37 m³/s-al haladta meg a vízeresztés mértékét, ami a vízállás szempontjából napi 5,3 tömme-es növekményt okozott.

A Sió-zsilip további nyitásával (2018. március 11.: 50 m³/s) szintén egy átmenetileg szinten tartó, igen lassú apadást előidéző állapot állt fent. Az előrejelzett jelentős csapadéokra való felkészülés érdekében a vízeresztés mértéke 2018. március 15-én elérte a 60 m³/s-os értéket.

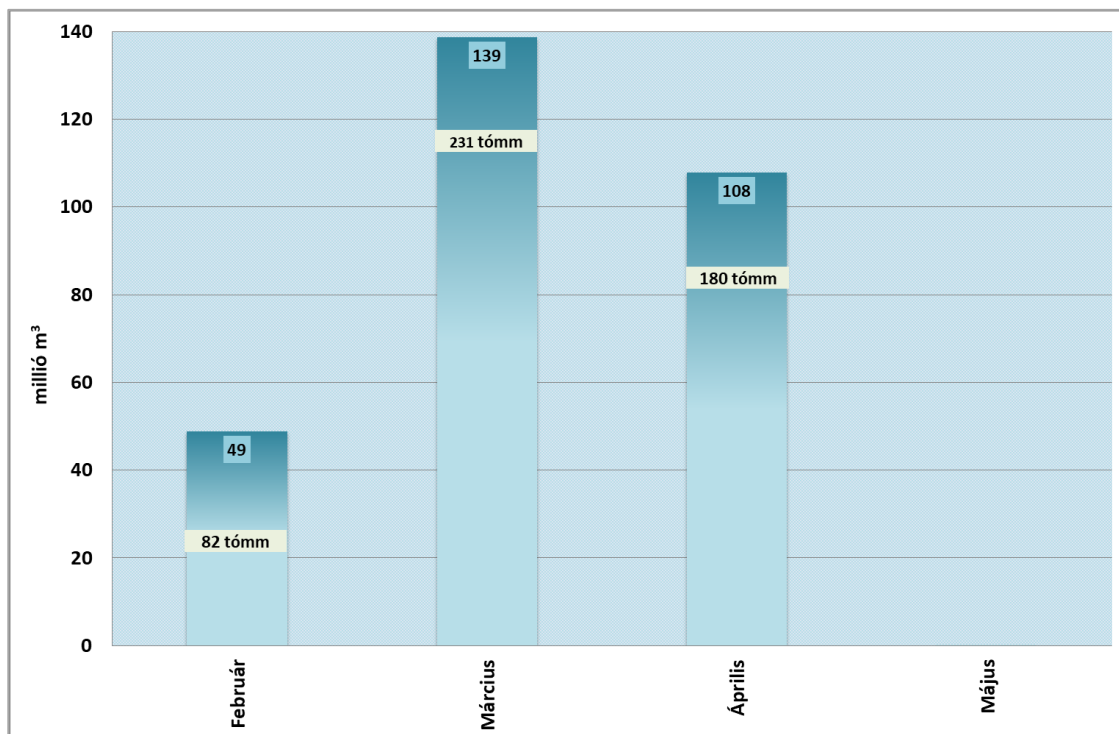
A Sió-meder állapotát figyelembe véve a Sió-zsilip március 15. – április 9. közötti időszakban maximális, 60 m³/s-os vízeresztés mellett üzemelt. Mindezek ellenére a több hullámban érkező nagycsapadékok hatására a hozzáfolyás március 17-23. és március 30. – április 1. között megszakítás nélkül meghaladta a vízeresztés mértékét. A 2018 tavaszán tapasztalt becült csúcs vízhozam (89,7 m³/s) idején közel 30 m³/s-os, napi 4,3 tömme-es vízállás növekedés volt tapasztalható.

A március havi természetes-vízkiészlet változás az elemzések szerint 281 tömme, ami meghaladja az 1981-2010-es adatok statisztikai vizsgálata alapján az 1%-os meghaladási valószínűséget (100 évente átlagosan egyszer bekövetkező vízháztartási helyzet).

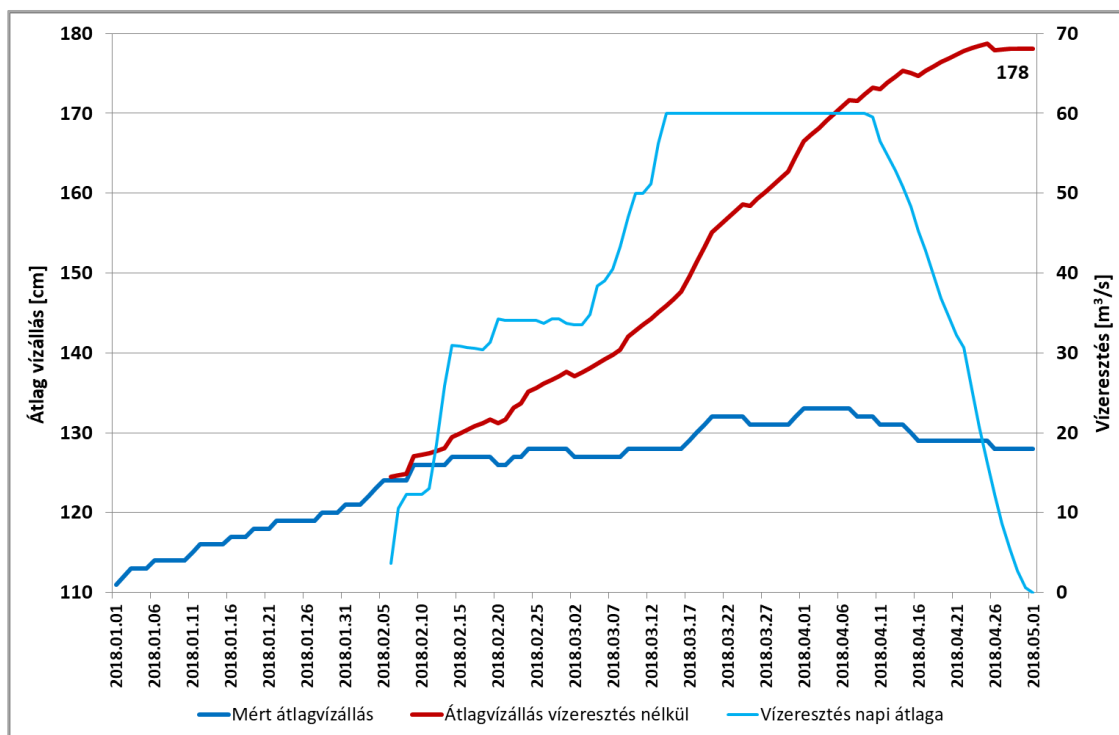
A Sió-zsilip fokozatos zárása 2018. április 10-én kezdődött meg. A Sió medrében a vízeresztés következtében keletkező károk mérséklése érdekében, a vízeresztés intenzitásának csökkentését, a zsilip zárását kizárólag kiemelt figyelem mellett és több órás, akár napos pihentetések alkalmazásával lehet elvégezni. Ennek következtében a 60 m³/s-os vízeresztési intenzitásról közel három hét alatt, május 1-re sikerült a zsilip teljes zárásáig eljutni.

A Sió-zsilipen keresztül a vízeresztés ideje alatt (2018. február 7. – május 1.) a Balatonból mintegy 300 millió m³ (295 579 368 m³) víz levezetésére került sor (11. ábra), ami 493 tömme vízszlopnak felel meg. A 2018-as évben a május 1-ig levezetett vízmennyiség, az 1981-2010-es teljes évi átlagértékhez képest 31%-os többletet mutat.

Vízeresztés nélküli állapotot feltételezve, a szimulált modellfuttatások eredményei alapján a Sió-zsilip zárásakor – 2018. május 1-én – a Balaton átlagvízállása 178 cm-es értéken tetőzött (12. ábra) volna.



11. ábra. A Sió-zsilipen levezetett vízmennyiség havi alakulása 2018.02.07. - 05.01. között (1 tómm ~ 600 000 m³ vízmennyiség)
 Figure 11. Monthly evolution of the amount of water discharged on the Sió-slucice between 07.02.2018 and 01.05.2018
 (1 lake mm ~ 600 000 m³ of water)



12. ábra. A mért és vízeresztés nélküli állapotot szimulált Balaton átlagvízállás alakulása
 Figure 12. The average water level of Lake Balaton simulated the measured and non-drained state

ÖSSZEGZÉS, KITEKINTÉS

A mintegy 3,4 m átlagmélységű Balaton jellegzetes sekély tó. Ezek a tavak mind mennyiségi, mind minőségi vonatkozásban rendkívül érzékenyek a környezeti változásokra. A mennyiségi érzékenység a vízforgalmat meghatározó vízháztartási tényezők változékonyságában nyilvánul meg, amelyek – egyéb, a vízháztartást érintő emberi be-

avatkozások mellett – együttesen határozzák meg a vízállás mindenkori alakulását. Az elmúlt másfél évtized vízháztartási folyamatai számos intő jellel szolgáltak. Elsősorban a szélsőségesebbé váló időjárás hatására gyakrabban és nagyobb mértékben fordultak elő szokatlan, mindenképpen szélsőségesnek nevezhető vízháztartási állapotok.

Tekintettel arra, hogy a Balaton természetes tó, de egyúttal hazai és nemzetközi értelemben is széles körben hasznosított üdülőt, a fenntarthatóság érdekében, valamint a természeti tényezők szélsőségei mérséklésére a megoldási lehetőségek egyik lépése a mederbeli tározás. Ezen célkitűzés eléréséhez szükséges a döntés-előkészítési folyamatot folytatni, illetve újraindítani azokat a tudományos igényű és megalapozottságú kutatási programokat, amelyek a vízháztartási folyamatok pontosabb és megbízhatóbb értékelését és – tekintettel az éghajlatváltozásra – előrejelzését szolgálják.

Értékelve és összefoglalva a 2017. őszi-téli, valamint a 2018 tavaszán tapasztalt hidrológiai és hidrometeorológiai tényezőket, elmondható, hogy a vízháztartási elemek és a vízforgalom alakulásában tapasztalható anomáliák nem tekinthetők példa nélkül álló kirívó szélsőségeknek. Rugalmas, hidrológiai alapokat alkalmazó és szakértői véleményeket figyelembe vevő vízszint-szabályozással, az ehhez szükséges feltételek átgondolt, teljes körű megteremtésével a szélsőségesnek tekinthető helyzetek kezelési lehetősége jelentősen javítható.

IRODALOMJEGYZÉK

Baranyi S. (1975a). A Balaton hidrológiai jellemzői 1921-1970, VITUKI Tanulmányok és kutatási eredmények 45. szám, Budapest.

Baranyi S. (szerk.) (1975b). A Balaton kutatási eredményeinek összefoglalása. Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató 112.sz., Budapest.

Bendefy L. (1968). A Balaton vízszintjének változásai a neolitikumtól napjainkig, Hidrológiai Közöny 48. évfolyam 6. szám. p 257-263.

KDT VIZIG (1993...2017). A Balaton vízháztartási mérlegei. Témajelentés, Siófok.

KDT VIZIG BVK (2006). A balatoni vízeresztés vízrajzi tapasztalatai. Témajelentés, Siófok, 2006. február.

K+F CONSULTING KFT. (2015). A Balaton vízgyűjtő területének átfogó hidrológiai vizsgálata, különös tekintettel a lefolyási viszonyok drasztikus változására és a hozzáfolyás csökkenésére; Tervtanulmány, Veszprém, 2015. november.

Magyar Tudománytár (2002). 1. kötet. Föld, víz levegő. p. 550. Kossuth Kiadó. ISBN 978-963-09-4357-4

Pálfai I. (2004). Belvizek és aszályok Magyarország. Közlekedési Dokumentációs Kft. ISBN 963 552 382 3

Varga Gy. (2005). A Balaton vízháztartási viszonyainak vizsgálata. In: Vízügyi Közlemények: A Balaton. Különszám. (szerk. Dr. Szlávik Lajos). pp. 93-104.

Virág Á. (1997). A Balaton múltja és jelene. p. 904, Egri Nyomda Kft., ISBN: 9639060216

Virág Á. (2005). A Sió és a Balaton közös története (1055-2005). Közlekedési és Dokumentációs Kft., Budapest.

VITUKI (1980). A Balaton kutatása és szabályozása, VITUKI Közlemények 27. Budapest.

VITUKI (2002). A Balaton ideiglenes vízszint-szabályozási rendjével kapcsolatos hatások és tapasztalatok elemzése II. ütem. Témajelentés, tsz.: 714/1/5371-01, Budapest.

VITUKI (2003). A Balaton vízpótlásának szükségessége: hidrológiai elemzések végzése. Témajelentés, tsz.: 721/1/6131-01. Témafelelős: Varga György, Budapest.

WMO (2018): Guide to Climatological Practices, WMO-No. 100, p.153, ISBN 978-92-63-10100-6

https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=55

http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/guide_climat_practices.php

SZERZŐK



VARGA GYÖRGY 1982-ben okl. hidrológusként végzett az ELTE TTK-n. 1982-2012 között a VITUKI Vízrajzi Intézetében dolgozott, munkáját 2012 augusztusa óta az Országos Vízügyi Főigazgatóságon folytatta. Az ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet címzetes egyetemi docense. Szakterületei: tóhidrológia, vízrajzi szakfelügyeleti tevékenység a hidrometeorológia területén, vízrajzi monitoring tervezés, vízkészletek mennyiségi állapotértékelése, részvétel vízrajzi kiadványok (pl. Vízrajzi Évkönyv) szerkesztésében.

JAKUS ÁDÁM 2016-ban okleveles környezetkutatóként, 2018-ban okleveles hidrológusként végzett az SZTE-en és az ELTE TTK-n. Szakterületei: a Balaton hidrológiai vizsgálata, hidrometeorológia, vízkészlet-gazdálkodás. Jelenleg az Országos Vízügyi Főigazgatóság kiemelt műszaki referense.

KRAVINSZKAJA GABRIELLA 1985-ben végzett a Leningrádi Hidrometeorológiai Egyetemen okl. hidrológus mérnökként, majd 2001-ben a Budapesti Műszaki Egyetemen okl. építőmérnökként. 1985 óta folyamatosan a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóságon dolgozott, jelenleg a Vízrajzi Osztály osztályvezetőjeként. Szakterületei: felszíni hidrológia, hidrometeorológia, tóhidrológia, balatoni vízkészlet-gazdálkodás, vízrajzi monitoring tervezés.

Módszer egy mértékadó árhullám meghatározására

Rátky István

nyugalmazott egyetemi docens (iratky@gmail.com)

Kivonat

Az utóbbi években egyre sürgetőbb igény van arra, hogy tervezéskor ne csak egyetlen mennyiségértékkal (pl. mértékadó vízszinttel, mértékadó vízhozammal stb.) megadott feltételre végezzük a méretezést megalapozó számításokat. Ma már egyre inkább valamilyen valószínűséggel a műtárgyra ható összetett jelenség közelítő modellezése a felelős tervezői hozzáállás. Ugyanakkor a szabványok, rendeletek nem tartalmazzák azokat a módszereket, amelyek egyértelmű útmutatást adnának a tervezőknek. Ezzel a problémával találkozhatunk töltéssel, árvízvédelmi fallal védett mentett-oldali talajvízszint meghatározásakor is pl. a Duna melletti Csillaghegyi-öblözet védelmi létesítményeinek tervezésénél. A Dunán 1876-2018 évek között levonult árhullámokból kiválasztottuk azokat, melyek 5 napig az I. fok felett voltak. Ilyen feltételnek eleget tevő 33 db árhullámnál előállítottuk a tetőpont közeli vízszintek súlyozott összegét, ΣZ -t, és ezen összegek 1%-os valószínűségű értékét, $(\Sigma Z)_{1\%}$ -ot (1. táblázat). Az észlelt árhullámokból meghatározott átlagos árhullám-alak előállítását követően, olyan árhullámokat szerkesztettünk, amelyeknél a tetőpont környéki napok időszakában a vízszintek összege megegyezik $(\Sigma Z)_{1\%}$ -al és az alakja (áradásának, apadásának intenzitása) az átlagos árhullám alakjával egyezik meg. A bemutatott módszer az árhullámok tetőzési szintjét, az árvíz tartósságát és az induló apadás szivárgási folyamatra való hatását is figyelembe veszi. Így szivárgáshidraulikai modell-számítások nélkülözhetetlen bemenő adata lehet. Különböző súlyozási módszerek (1. ábra) segítségével előállított árhullámok (2. ábra) közül a valóban mértékadó árhullámot, a MÁR-t, csak részletes szivárgáshidraulikai numerikus modell-számítások segítségével lehet kiválasztani. Modell-számítások nélkül mi a hiperbolikus súlyelosztású változatot (3. ábra) tartjuk a legjobb közelítésnek.

Kulcsszavak

Duna, Csillaghegyi-öblözet, mértékadó árvízszint (MÁSZ), mértékadó árhullám (MÁR).

Method for determining a design flood wave

Abstract

In recent years, there has been a growing need in design that the scaling calculations should not be based on only with a single quantity value (e.g. standard water level, standard water flow, etc.). Nowadays, it is increasingly probable that the responsible designer's attitude is the approximate modelling of a complex phenomenon affecting the investigated engineering structure. At the same time, standards and regulations do not include methods that give clear guidance to designers. This problem can be encountered by defining groundwater level in an area protected by levee or flood protection wall, e.g. at the design of the defence facilities of Csillaghegy-bay near the Danube. From the flood waves of the Danube between 1876 and 2018, we chose those that were above the I degree of alert for 5 days. We have produced a weighted sum of water levels near the top (ΣZ), and a value of 1% (ΣZ) of 1% for the 33 floods that meet this condition (Table 1). After the production of the average waveform determined by the observed flood waves, we created waves where the sum of the water levels in the period of the days around the peak is equal to $(\Sigma Z)_{1\%}$ and its shape (intensity of flooding and abandonment) corresponds to the shape of the average flood wave. The method described also takes into account flood peak levels, the duration of flood waves and the impact of the start of the decreasing of flood level on the seepage process. This can be an essential input for leakage hydraulic model calculations. Various weighting methods (Figure 1) are used to make the flood wave (Figure 2) that can be used to select the really design flood wave, the MÁR, only by means of detailed leakage hydraulic numerical model calculations. Without model calculations, we consider the hyperbolic weight distribution (Figure 3), as the best approximation.

Keywords

Duna, Csillaghegy flood protection bay, design flood level, design flood wave/hydrograph.

BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A szakmában általánosan használt mennyiségek pl. *mértékadó* árvízszint, (MÁSZ), *mértékadó* vízhozam, *mértékadó* csapadék annyira megszokottá váltak, hogy néha el is felejtjük azt, hogy ezekben a mértékadó jelzőt *méretet-adó* értelemben használjuk. Talán helyesebb is lenne mindig *méretet-adó* vízszintről stb.-ről beszélni. Ezzel közvetlenebbül hangsúlyozva azt, hogy ezek a mennyiségek valamilyen tervezendő mű méretének számításához szükségesek. A címben megadott cél mindig egy általánosabb feladat része. Ez az általános feladat egy létesítmény tervezése.

Ahhoz, hogy tágabb összefüggésében lássuk e tanulmányban kitűzött célt, emlékeztetünk a tervezés 'definíciójára': a műszaki megoldás kiválasztása után a létesít-

mény geometriai méreteinek és anyagminőségének kiválasztása úgy, hogy az előirányzott élettartam alatt az igények bizonyos valószínűséggel való kielégítése mellett, a létesítmény megvalósítása és üzemeltetése gazdaságos legyen (Éliás 1974, Rátky 2008). E leírásban a geometriai méret meghatározás mellett még 8 olyan műszaki szakkifejezés van (pl. minőség, élettartam, valószínűség stb.), amely befolyásolja a létesítmény valamelyik méretét. Ennek tükrében a méretet-adó (pl. MÁSZ) kifejezés sem pontos.

A tervezés sokkal több, mint csak egyszerű méret meghatározás. Ugyanakkor egy konkrét műnél, ha már kiválasztottuk (ismerjük) annak lényegesebb jellemzőit, akkor meghatározhatjuk azt a ható tényezőt és annak változását, mely döntően befolyásolja a méretét. Pl. egy

folyó mellett a töltéssel védett mentett-oldali víztelenítő rendszerrel, ha ismerjük a talaj szerkezetét, vízvezető tulajdonságait, szivárgó helyét stb. a szivárgó-víz átmenésére hivatott szivattyú kapacitásának meghatározásához (méretezéséhez) döntően a folyón levonuló árhullám mérete, alakja lesz a mértékadó. (Ismételten hangsúlyozva azt, hogy a több más ható tényező mellett van ez a legnagyobb súlyú hatás). E tanulmányban ilyen értelemben, megszorításokkal használjuk a mű egy elemének méretét meghatározó számításához szükséges a mértékadó szakkifejezést.

Az utóbbi években egyre sürgetőbb igény van arra, hogy tervezéskor ne csak egyetlen mennyiségértékkel megadott feltételre végezzük a méretezést megalapozó számításokat. Az igényt természetesen a lehetőségek bővülése is indukálta, gondoljunk csak a számítástechnika fejlődésére. Ma már a tervezést megalapozó számításoknál egyre inkább valamilyen valószínűséggel a létesítményre ható, összetett jelenség közelítő modellezése a felelős tervezői hozzáállás. Ugyanakkor a szabványok, rendeletek nem tartalmazzák azokat a módszereket, amelyek egyértelmű útmutatást adnak a tervezőknek. Ennek egyik oka az, hogy nem is lehet minden műtárgyra, létesítményre részletes tervezői előírást adni, gondoljunk csak a legkülönbözőbb művekre: töltés, vízfolyás, csatorna, tározó, szivárgó rendszer stb. és egy konkrét műnél a külső körülmények, igények változatosságára. Célként inkább azt kell kitűzni, hogy megfelelő irányelvek segítsék a tervezőt, – ami nem csak ismert általánosságok gyűjteménye. Igen hasznos információkat útmutatásokat találhatunk a különböző ismertető írásokban: tervezési általános szabályok, követelmények, méretezési alapelvek, irányelvek (Kovács 1985). Ezek mellett szükség van konkrét műtárgy vagy létesítmény csoportokra alkalmazható előírásokra is. Kevés olyan területe van a vízügyi szakmának, ahol széles konszenzus alakult ki a számításokhoz szükséges mértékadó állapot felvétele tekintetében (Szigvártó 2015, Rátky 2015). Árvédelmi töltések mentett-oldali talajvízszint szabályozásának tervezése is az a terület, ahol különböző folyóbeli mértékadó állapotokkal számolnak (pl. BMGE 2017, Völgyesi 2018).

E tanulmányban egy módszert mutatunk be a mértékadó árhullám meghatározására, amely egy folyó mentett-oldali talajvízszint változását számító numerikus modellhez nélkülözhetetlen. A módszert a Duna Római-parti térségnél figyelembe vehető árhullámok példáján keresztül mutatjuk be, amelyek a Csillaghegyi-öblöt tervezett védműveinek kialakítását, méretét befolyásolják.

AZ ADATOK ÉS A MÓDSZER

A figyelembe vett árhullámok kiválasztása, idő szerinti transzformálása

Rendelkezésünkre állt a Duna Vigadótér-i vízmércéjének vízállás észlelési adatai 1876-2018 évek között. 142 év adataiból kiválasztottuk azon éveket, ahol legalább 5 napig volt a vízállás az I. fok (620 cm) felett. Külön árhullámként egy 3 hónapos időintervallumot tekintünk. A kitűzött célunk szempontjából logikus volt, ha egy évben több alkalommal is előfordult, hogy egy 3 hónapos időtartamot tekintve a vízállás 4 napon túl meghaladta a 620 cm-t, akkor azt is külön árhullámként kezeltük, így 4

évben két darab függetlennek feltételezett árhullammal is számoltunk. A fenti feltételeknek 33 árhullám felelt meg.

A római-parti térség talajvízszint változásának modellezéséhez a vigadótéri vízállásokat 'áttranszformáltuk' a Duna 1656,4 fkm-es szelvényére (amelyre továbbiakban Római névvel hivatkozunk). Továbbiakban csak a Római vízszinteket ($Z \equiv Z_{Ró}$) vizsgáltuk. Az árhullámokat relatív időpont skálára transzformáltuk, ahol T_0 a tetőzési időnek felel meg, az ezt megelőző napokat (áradó ág) ehhez viszonyítva mínusszal T_{-i} -vel $i = -45$ -ig, az ezt követőket (apadó ág) T_{+i} -vel $i = +45$ -ig jelöltük.

A számításokat Excel táblázatkezelővel végeztük. Az alkalmazott módszer lépéseit a 1. táblázatban konkrét számokon lehet követni. A táblázatban a tényleges számításunk egy részletét adtuk meg, az eredeti Excel táblázatból az áttekinthetőség miatt kihagytunk sorokat és oszlopokat. A lépések szöveges ismertetése után azok táblázatbeli megfelelőjére utalunk – minden alfejezet után. A leírt feltételeknek megfelelő, a Z_{max} értékeivel közös T_0 időpontra transzformált árhullámok Z értékeit a táblázat B3:K37 tömbjében láthatjuk. Az 1. sorban az árhullám sorszáma, a 2. sorban az év, a 3.-37. sorokban – az A oszlopban jelölt napoknak megfelelő – vízszintek vannak.

Az átlagos árhullám előállítása és alakjának jellemzése

Meghatároztuk a 33 db árhullám azonos T_i napjaihoz tartozó vízszintek átlagát (minden évben a teljes vizsgált -45 – +45 napra). Az átlagos-árhullám alakját az L27 cellában kapott ($Z_0 \equiv Z_{max}$)*átlagos* = 103,48 mB.f. érték arányával/százalékával jellemeztük. Pl. $Z_{+1}/Z_0 = 103,33/103,48 \rightarrow 99,86$, hasonlóan Z_{-2}/Z_0 , Z_{-3}/Z_0 stb. arányokat is kiszámítottuk (Így pl. a T_{-1} napon lévő átlagos vízszint a maximális szint 99,86%-a; stb.) Az átlagos alak minden Z -je a Z_{max} függvényében ismert százalék. Tehát bármekkora Z_{max} -hoz elő tudjuk állítani – a vizsgált 33 db árhullámhoz – alakra hasonló árhullámot. Jogosnak érezzük, hogy a mértékadó árhullám (MÁR) alakja megegyezzen a 33 db árhullám átlagának alakjával (átlagos alakjával).

A 1. táblázat L3:L37 cellatartományában számítottuk ki az átlagos árhullám Z értékeit és az M3:M37 cellatartományban adtuk meg annak %-os jellemzését.

A térség talajvízszintjének alakulását (pl. a szivárgó szivattyújának kapacitás-igényét) alapvetően a dunai vízszintek magassága és alakja, a tetőzés előtti szintek tartóssága befolyásolja. A mentett-oldali felszínalatti terület pólustér feltöltéséhez megfelelő (magas) dunai vízszintek és idő szükséges, ilyen tartós szintek eredményeznek. A Dunához közeli talajtérségben a pillanatnyi talajvízszintet legnagyobb súllyal a pillanatnyi dunai szint befolyásolja, az egy nappal korábbi vízszint is lényeges, de kisebb súllyal, hiszen az egy nappal előbb már feltöltött póruster talajvíze – pontosabban annak egy része – már egy a Dunától messzebb lévő területre szivároghatott át, (ott töltve fel a pórusteret), a két nappal korábbi vízszint tovább csökkentett hatással bír, és így tovább. A valóságban lejátszódó jelenséget erre a gondolatsorra alapozva próbáltuk modellezni. Előállítottuk a vizsgált árhullámok tetőpont közeli vízszintjeinek súlyozott összegét, ΣZ -t. A súlyozás a fenti logika alapján a tényleges

talajvízmozgást próbálja modellezni, míg a súlyozott vízszint-összegeket azért állítottuk elő, hogy a különböző árhullámokat egyetlen számértékkel jellemezhesük, (mert ezekre a számértékekre mint valószínűségi változókra később eloszlásfüggvényt illesztve meghatározhat-

juk az 1%-os valószínűségi értéket.) A súlyozásba bevont szinteket és összegzéseket nem a teljes $T_{-45} - T_{+45}$ napra végeztük el, hiszen pl. a T_{-45} . napi Z_{-45} már elhanyagolható hatású a maximális talajvízszintre (legalább is az időben közelebbi szintekhez viszonyítva).

1. táblázat. Excel táblázatkezelővel végzett számítás részlete
Table 1. Detail of calculation with Excel spreadsheet

	A	B	C	D	E	F	G	I	K	L	M	N	O	P
1		1.	2.		18.	19.		32	33.					
2		1876	1883		1965	1966		2010	2013	Átlag	Alak %		Súlyoz_20 $\Sigma Z_{-15 \dots +4}$	Súlyoz_1 $\Sigma Z_{-15 \dots +4}$
3	-45	101.06	99.84		101.58	100.01		98.38	100.15	99.26	95.92		100.91	100.91
4	-44	101.01	99.95		101.38	100.08		98.18	99.92	99.26	95.92		100.91	100.91
5	-43	101.08	100.53		101.23	100.11		98.02	99.83	99.28	95.94		100.94	100.94
6	-												-	-
7	-20	100.93	99.88		102.66	101.01		100.42	99.39	99.50	96.16		101.57	101.16
8	-19	100.92	99.80		102.53	101.36		100.39	99.21	99.55	96.20		101.62	101.21
9	-18	100.88	99.73		102.36	101.54		100.44	99.07	99.56	96.21		101.62	101.22
10	-17	100.82	99.67		102.25	101.43		100.49	99.04	99.57	96.22		101.64	101.23
11	-16	100.80	99.55		102.31	101.19		100.70	98.95	99.65	96.30		101.72	101.31
12	-15	100.79	99.48		102.40	100.98		100.96	98.84	99.74	96.39		101.81	101.40
13	-14	100.78	99.37		102.48	100.78		100.83	98.63	99.87	96.51		101.95	101.54
14	-13	100.72	99.33		102.71	100.64		100.53	98.66	99.93	96.57		102.00	101.59
15	-12	100.61	99.29		102.96	100.73		100.19	98.88	100.01	96.64		102.08	101.67
16	-11	100.53	99.45		103.16	100.86		100.11	99.28	100.09	96.72		102.17	101.76
17	-10	100.51	100.51		103.22	100.71		100.24	99.46	100.22	96.85		102.30	101.89
18	-9	100.50	101.47		103.26	100.66		100.32	99.71	100.34	96.97		102.42	102.01
19	-8	100.50	101.94		103.34	100.68		100.31	100.88	100.50	97.12		102.59	102.18
20	-7	100.58	102.29		103.39	100.70		100.25	101.53	100.75	97.36		102.84	102.43
21	-6	100.71	102.60		103.45	100.71		100.60	102.00	101.03	97.63		103.13	102.72
22	-5	101.00	102.98		103.59	100.71		101.39	102.53	101.43	98.02		103.54	103.12
23	-4	101.74	103.26		103.86	101.03		102.24	103.08	101.99	98.56		104.11	103.69
24	-3	102.27	103.45		104.18	101.58		102.96	103.73	102.49	99.05		104.62	104.20
25	-2	103.50	103.53		104.29	102.14		103.59	104.34	103.00	99.53		105.14	104.71
26	-1	104.41	103.56		104.30	102.68		104.01	104.72	103.33	99.86		105.48	105.06
27	0	104.66	103.60		104.33	102.99		104.16	104.78	103.48	100.0		105.63	105.21
28	1	104.06	103.55		104.22	102.96		103.83	104.48	103.32	99.85		105.47	105.05
29	2	103.87	103.46		104.19	102.94		103.35	103.93	103.02	99.56		105.16	104.74
30	3	103.80	103.22		104.16	102.88		102.77	103.30	102.62	99.17		104.75	104.33
31	4	103.95	102.69		104.12	102.60		102.09	102.78	102.24	98.80		104.36	103.94
32	5	103.96	102.25		104.03	102.19		101.54	102.36	101.89	98.47		104.01	103.59
33	-												-	-
34	42	102.10	98.87		101.42	100.59		98.87	98.03	99.67	96.32		101.34	101.34
35	43	102.02	98.80		101.44	100.40		99.04	97.93	99.59	96.24		101.25	101.25
36	44	101.88	98.74		101.27	100.35		98.84	97.81	99.50	96.15		101.15	101.15
37	45	101.74	98.67		101.10	100.21		98.56	97.77	99.41	96.06		101.06	101.06
38														
39										átlag	szórás			
40										(ΣZ)	(ΣZ)	(ΣZ) _{1%}		
41	ΣZ	21 418	21 481		21 418	21 481		21 401	21 464	21 347	190.7	21 790	21 790	
42	ΣZ	370	370		374	367		370	371	368	2.6	374		374

Súlyozott vízintösszegek előállítás

2. táblázat. Az alkalmazott súlyozási változatok főbb jellemzői

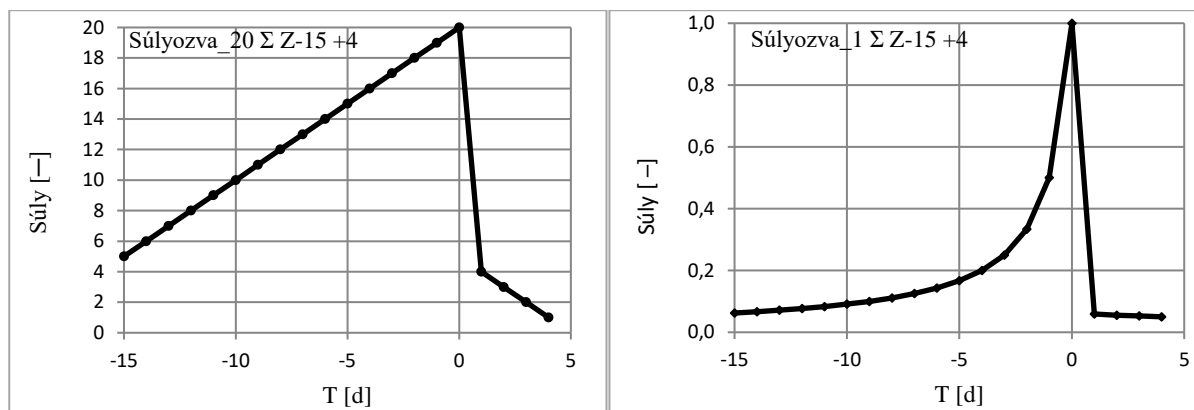
Table 2. The main features of the applied weighting variants

Változat jele	Jellemzője	Z ₀ súlya
ΣZ_{-10-0} Nem Súlyozva	$T_{-10} - T_0$ közötti Z-k sima összege	–
ΣZ_{-15-0} Nem Súlyozva	$T_{-15} - T_0$ közötti Z-k sima összege	–
ΣZ_{-10-0} Súlyozva ₁₁	$T_{-10} - T_0$ közötti Z-k súlyozott összege	11
ΣZ_{-10+4} Súlyozva ₁₅	$T_{-10} - T_{+4}$ közötti Z-k súlyozott összege	15
ΣZ_{-15+4} Súlyozva ₂₀	$T_{-15} - T_{+4}$ közötti Z-k súlyozott összege	20
ΣZ_{-15+4} Súlyozva ₁	$T_{-10} - T_{+4}$ közötti Z-k hiperbolikus súlyozott összege	1

A különböző súlyozások főbb jellemzőit az 2. táblázatban adtuk meg. Kétféle súlyozást választottunk. A lineáris súly-elosztásnál az idő függvényében lineárisan változik a súly értéke; T_0 naptól (a tetőponti naptól) időben távolabb lévő napok Z értékei lineárisan csökkenő, egyre kisebb súllyal szerepelnek az összegzésben. A hiperbolikus (fordított arányossági függvény) súly-elosztásnál a tetőponti Z_0

vízszint 1-es súllyal, a Z_{-1} 1/2-el, a Z_{-2} 1/3-al, ... a Z_{-15} -ös szint 1/16-od súllyal, míg az apadó-ágon Z_{+1} 1/17-ed, ... Z_{+4} -es vízszint 1/20-ad súllyal szerepel a ΣZ -ben. Hiperbolikus súly-elosztásnál a tetőpontot megelőző szintek arányaiban sokkal kisebb súllyal szerepelnek, mint a lineáris súlyozásnál (1. ábra). Ezzel azt tételezzük fel, hogy a tetőzéstől időben távolabbi áradó vízszintek kisebb hatást gyakorolnak a mértékadó talajvízszintekre, mint a közelebbiek és egy T_0 -hoz közeli apadás is nagyon kicsi hatást gyakorol.

Az 1. táblázat B41:K41 tartományában a ' ΣZ_{-15+4} Súlyozva₂₀' jelű súlyozás évenkénti értékeit számítottuk, minden ΣZ_i érték a felette lévő 12-31 sorok Z értékeinek lineáris súly-elosztású összegét tartalmazza. A súlyok eloszlása az 1. ábrán bemutatott lineáris elosztású, T_0 -nak megfelelő Z_0 -nál 20-tól indulva. A B42:K42 tartományában a ' ΣZ_{-15+4} Súlyozva₁' jelű súlyozás évenkénti értékei vannak, minden ΣZ_i érték a felette lévő 12-31 sorok Z értékeinek hiperbolikus súly-elosztású összege. A súlyok eloszlása az 1. ábrán bemutatott hiperbolikus elosztású, Z_0 -nál 1-től indulva.



1. ábra. Lineáris és hiperbolikus súly-elosztási típus

Figure 1. Linear and hyperbolic weight distribution type

Az 1%-os valószínűségű súlyozott összegek meghatározása és az árhullámok előállítás

A 33 db éves súlyozott ΣZ -k normál eloszlásúak, ezt a ' ΣZ_{-15+4} Súlyozva₂₀' és a ' ΣZ_{-15+4} Súlyozva₁' adatainál beláttuk. Normáleloszlás alapján kiszámítottuk a súlyozott ΣZ -k 1%-os valószínűségű értékét, $(\Sigma Z)_{1\%}$. A különböző súlyozások más-más $(\Sigma Z)_{1\%}$ értéket adtak. Egy konkrét súlyozási változat esetén próbálgatással megkerestük a MÁR-hoz tartozó maximális vízszintet, a $Z_{MÁR,max}$ értéket, két feltétel alapján:

- a súlyozásba bevont időintervallumra (pl. -15 – +4 vagy -10 – +0 stb.) összesített súlyozott Z értékére ugyanakkora $(\Sigma Z)_{MÁR}$ -t adjon, mint az eredeti – észlelési adatokon alapuló – $(\Sigma Z)_{1\%}$,
- ugyanakkor $Z_{MÁR,i}$ értékeire teljesüljön az átlagos árhullám-alak %-os eloszlása. Tehát minden i -re $(Z_i/Z_{max})_{\text{átlagos-árhullám}} = (Z_i/Z_{max})_{MÁR}$.

A súlyozási időn kívüli $Z_{MÁR}$ értékeket is az átlagos alak, és a $Z_{MÁR,max}$ alapján számítottuk.

Ezzel a módszerrel a teljes $T_{-45} - T_{+45}$ időszakra egy olyan árhullámot kaptunk, amelynél a tetőpont környéki

(pl. $T_{-15} - T_{+4}$) napok időszakában a súlyozott vízintek összege megegyezik $(\Sigma Z)_{1\%}$ -al és az alakja (áradásának, apadásának intenzitása) a 33 év árhullámainak átlagos alakjával egyezik meg.

A fentieket az 1. táblázatban követve: L41 és M41 cellák az előtte lévő B41:K41 tartomány – az eredeti Excel táblázatban – 33 db ΣZ_i átlagát és szórását adják, míg a N41-ik cella az ezek alapján számított normál eloszlású $(\Sigma Z)_{1\%}$ -ot. Hasonlóan, L42 és M42 cellák az előtte lévő B42:K42 – az eredeti Excel táblázatban – 33 db ΣZ_i átlagát és szórását tartalmazza, míg a N42-ik cella az ezek alapján számított normál eloszlású $(\Sigma Z)_{1\%}$ -ot mutatja. Természetesen a kihagyásokat tartalmazó 1. táblázat B41:K41 és B42:K42 tartományai nem adják meg a beírt átlag, szórás és $(\Sigma Z)_{1\%}$ értékeket. Az O3:O37 tartomány tartalmazza – a fentebb részletezett két feltétel alapján – számított ' ΣZ_{-15+4} Súlyozva₂₀' jelű árhullámot. Az O27 cellába próbálgatással addig változtattuk a $Z_{MÁR,max}$ értékét, míg az O12-O31 cellákban számított – az átlagos árhullám arányoknak megfelelő – Z_i -k összege nem egyezik meg az N41 cellába lévő $(\Sigma Z)_{1\%}$ -al. Hason-

lóan számítottuk a P3:P37 tartományban a ' ΣZ_{-15-+4} Súlyozva_1' jelű árhullámot. A P27 cellában próbálgatással addig változtattuk a $Z_{M\acute{A}R,max}$ értékét, míg az P12:P31 cellatartományban számított – az átlagos árhullám arányoknak megfelelő – Z_i -k összege nem egyezik meg az N42 cellában lévő $(\Sigma Z)_{1\%}$ -al. Az O41 és P42 cellákban végeztük az összegzést és akkor hagytuk abba a $Z_{M\acute{A}R,max}$ változtatását, ha e cellákban az érték megegyezett az N41 illetve N42 beli $(\Sigma Z)_{1\%}$ -al.

3. táblázat. A számított árhullámok maximális vízszintjei
Table 3. Maximum water levels for calculated waves

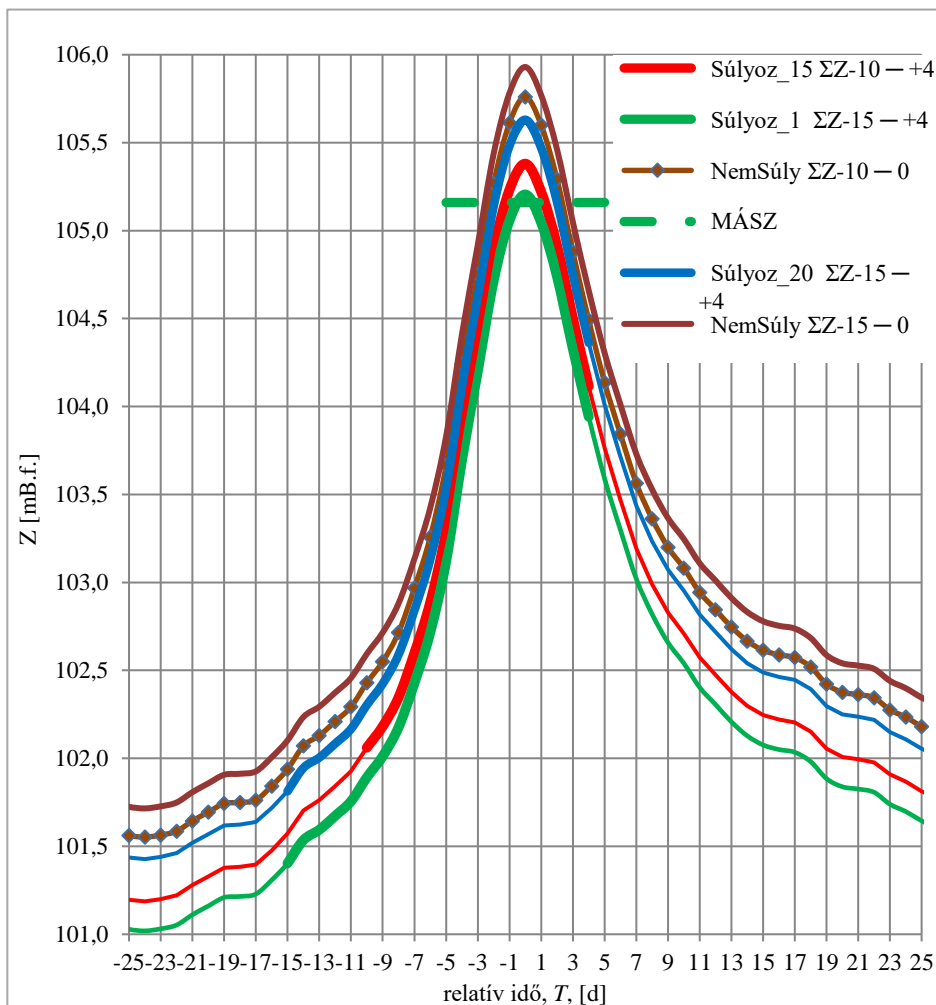
Változat	Z_{max} , mB.f.
ΣZ_{-10-0} Nem Súlyozva	105,76
ΣZ_{-15-0} Nem Súlyozva	105,93
ΣZ_{-10-+4} Súlyozva_11	105,41
ΣZ_{-10-+4} Súlyozva_15	105,38
ΣZ_{-15-+4} Súlyozva_20	105,63
ΣZ_{-15-+4} Súlyozva_1	105,21

A számított árhullámok összehasonlítása és a mértékadó árhullám kiválasztása

Az egyes súlyozások esetén számított maximális vízszinteket a 3. táblázatban foglaltuk össze. Látható, hogy

mindegyik számított érték a helyi (1656,4 fkm) $M\acute{A}SZ_{R\acute{o}mai} = 105,16$ mB.f. fölött van. A 2. ábrán és a 3. táblázatból látszik, hogy súlyozás nélküli módszerek adják a legnagyobb árhullám-képet. Az alkalmazott súlyozásoknál mindig $Z_{M\acute{A}R,max} > Z_{M\acute{A}SZ}$. Nem tudunk műszaki érvet, de még logikus indokot sem találni arra, hogy mely súlyozással kapott értékek adják valóban a $M\acute{A}R$ -t. Ezt csak a különböző súlyozásoknál kapott árhullámokkal végzett részletes, numerikus modell-számítások adnák meg. Annyi azért látszik az eredményekből, hogy ha ragaszkodunk a lineáris súly-elosztáshoz és egyre nagyobb időintervallumot vonunk be a súlyozásba, annál nagyobb súlyt kap a Duna tetőponti vízszintje és a számított Z_{max} is annál nagyobb lesz (ΣZ_{-15-+4} Súlyozva_20'-nál a Z_{max} nagyobb, mint ' ΣZ_{-10-+4} Súlyozva_15'-nél).

Ezt figyelembe véve és azt, hogy a Duna védműveit a $M\acute{A}SZ$ -ra építették ki (ill. tervezték), modell-számítások nélkül mi a ' ΣZ_{-15-+4} Súlyozva_1', 1-es maximális súlyú, – hiperbolikus súly-elosztású – változatot tartjuk a legjobb közelítésnek. Ennél a számított maximális vízszint csak 5 cm-el haladja meg a $M\acute{A}SZ$ -t. Ugyanakkor ne felejtjük el, hogy ez a fiktív árhullám nem a Duna védműveihez (pl. töltéskorona-szinhez vagy az árvédelmi falmagassághoz) ad mértékadó árhullámot, hanem a talajvízszint-változások számításához adhat mértékadó terhelést.



2. ábra. Különböző súlyozások esetében a számított árhullámok
Figure 2. Calculated waves for different weights

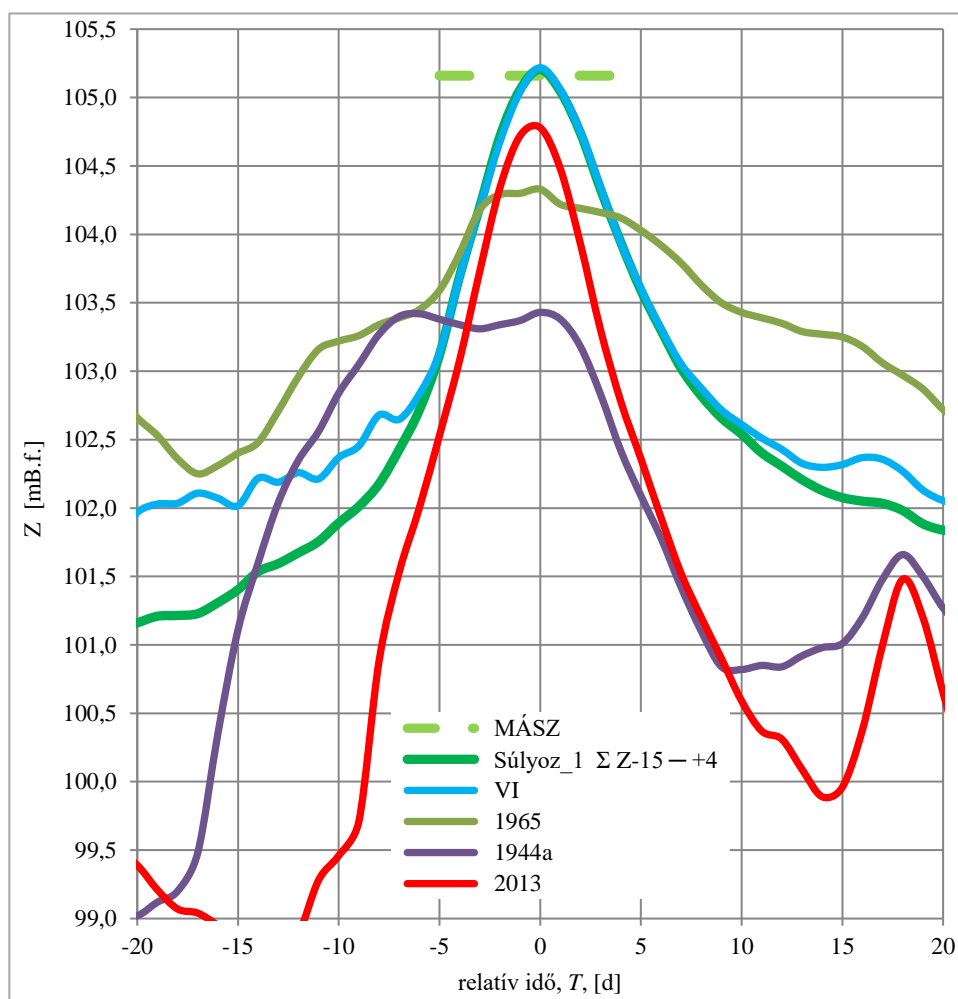
Nem csak az a lényeg, hogy mennyi a $Z_{MÁR,max}$ és az hogyan viszonyul a MÁSZ-hoz. Az 1965. évi árhullám $T_{-15} - T_{+4}$ napos időszakának ($\Sigma Z_{-15,+4}$ Súlyozva_1'-el) súlyozott ΣZ -je gyakorlatilag megegyezik (ΣZ)_{1%}-al, pedig $Z_{1965,max} = 104,33$ mB.f. majdnem 1 m-el alacsonyabban tetőzött, mint az 1656,4 fkm-nél érvényes jelenlegi MÁSZ (105,16 mB.f.). Az árhullám alak is fontos, sőt olyan extrém tartósságú árhullámnál, mint az 1965-ös még fontosabb is, mint a tetőzési szint. Ez is rámutat arra, amit Völgyesi így fogalmazott meg, „A folyóban levonuló árhullám által indukált szivárgási folyamatokat ugyanis nem csak az árhullám tetőzési szintje, hanem az árvíz tartóssága, illetve a tetőzést megelőző vízszintemelkedés sebessége, időtartama is meghatározza, sőt az apadás jellege is.” (Völgyesi 2019).

Megnéztük, hogy az általunk ajánlott MÁR hogyan viszonyul Völgyesi István által számított „átlagos árhullám”-hoz – az 3. ábrán VI-vel jelölve. Az ábrán látható, hogy $T_{-5} - T_{+7}$ között gyakorlatilag a két görbe megegyezik, az eltérés maximuma 4 cm. Az eredmény a két módszer származtatásának ismeretében meglepő. Az ábrán az is látszik, hogy a görbék menete között ott van nagyobb eltérés, ahol már Völgyesi nem az összes árhullám alapján számította az átlagos-árhullámot.

A 3. ábrán bemutatjuk még azoknak az éveknél az árhullámait is, melyeknél a súlyozott ΣZ -k alig térnek el a

mértékadónak elfogadott ' $\Sigma Z_{-15,+4}$ Súlyozva_1' jelű változat (ΣZ)_{1%}-os értékétől. Az eltérés 1965-ös árhullámnál ~0,1%, 1944a.-nál és 2013-nál is csak 0,8-0,81%. Az igen kicsi eltérés azt bizonyítja, hogy a súlyozási időn belüli Z eloszlásokra a módszer nem érzékeny, az időszak összegzett értéke a döntő, (csak ezzel számoltunk később). Gyakorlatilag ugyanakkora (ΣZ)_{1%}-ot kaptunk az 1944a jelű és a 2013. évi árhullámoknál. Ez még inkább aláhúzza annak fontosságát, hogy csak numerikus modell-számításokkal lehet eldönteni, hogy mértékadó lehet-e pl. egy 1944. évi árhullámhoz hasonló tetőpontú és alakú árhullám.

Mint ahogy a MÁSZ sem univerzális, nem minden magassági szinttel kapcsolatos tervezési munkánál mértékadó, úgy a MÁR sem általános. A bemutatott módszerrel kapott MÁR nem alkalmas minden árhullámot igénylő tervezéshez. Például: árvédelmi földtöltés rézsúállékonyságának tervezéséhez egy olyan módszer kidolgozása szükséges, amely az apadó-ág vízszint süllyedésének hatását jobban figyelembe veszi; egy árvíz szükségeltartozó térfogatának méretezéséhez is különböző árhullám alakokból indulunk ki, és az azok alapján származtatott térfogatok és azok eloszlásából meghatározott valószínűségű térfogat lesz mértékadó a tervezéshez. Mint erre példát az irodalomban találunk, (Szigyártó 2015, Rátky 2015).



3. ábra. Völgyesi-féle "átlagos-árhullám", a MÁR és a legnagyobb ΣZ -ket adó árhullámok
Figure 3. Völgyesi type "average flood", the MÁR and flood waves with the biggest ΣZ

ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunkban egy módszert mutattunk be, olyan folyóbeli mértékadó árhullám (MÁR) meghatározására, amely az árvédelmi töltések mentett-oldali talajvízszint szabályozásának és a védelmi létesítményeinek tervezéséhez nélkülözhetetlen. A módszert a Duna Római-parti térségnél figyelembe vehető árhullámok példáján keresztül mutattuk be.

A Duna Vigadóter-i vízmércéjének 1876-2018 évek közötti vízállás észlelési adataiból kiválasztottuk azon éveket, ahol legalább 5 napig volt a vízállás az I. fok felett. Ilyen feltételnek 33 db árhullám felelt meg. A vízszintekké átalakított vízállásokat átranzformáltuk a római-parti térség 1656,4 fkm-es szelvényére. Itt az árhullámokat relatív időpont skálára transzformáltuk, azonos időpontra tolván a tetőponti vízszinteket. Meghatároztuk a 33 árhullám átlagát és ez átlagos árhullám tetőponti értéke függvényében jellemeztük ez átlagos hullám alakját. Előállítottuk a vizsgált árhullámok tetőpont közeli vízszintjeinek súlyozott összegét, ΣZ -t. Különböző súlyozási módszert alkalmaztunk (1. ábra). Kiszámítottuk az évenként súlyozott ΣZ -k 1%-os valószínűségű értékét, $(\Sigma Z)_{1\%}$. Súlyozási változatokként a vizsgált teljes T_{-45} - T_{+45} időszakra olyan árhullámokat állítottunk elő, amelyeknél a tetőpont környéki (pl. T_{-15} - T_{+4}) napok időszakában a vízszintek összege megegyezik $(\Sigma Z)_{1\%}$ -al és az alakja (áradásának, apadásának intenzitása) a 33 év árhullámainak átlagos alakjával egyezik meg (2. ábra)

A mentett-oldali víztelenítő rendszer tervezéséhez nélkülözhetetlen, valóban mértékadó terhelést adó MÁR, a különböző súlyozásokkal kapott árhullámok (2. ábra) közül csak részletes, numerikus modell-számítások alap-

ján választható ki. Ilyen modell-számítások általánosítható eredményt is adhatnak a módszerrel kapcsolatban. *Most, modell-számítások nélkül mi a ' ΣZ -15 - +4 Súlyozva_1' jelű hiperbolikus súly-elosztású változatot (3. ábra) tartjuk a legjobb közelítésnek.*

IRODALOMJEGYZÉK

BMGE (2017). Budapest III. Csillaghegyi öblözet Nánási út–Királyok útja változat döntés-előkészítő tanulmány. Szakvélemény, Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék, Témavezető: Dr. Mähler András.

Éliás E. (1974). Méretezési alapelvek. In: Vízügyi létesítmények kézikönyve: Szerk. György István, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, pp. 111-114.

Kovács Gy. (1985). Tervezési és műszaki adatok meghatározása. In: Mérnöki Kézikönyv 3, Szerk. Palotás László, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, pp. 143-144.

Rátky I., (2008). BME Közlekedési földművek előadási anyag.

Rátky I. (2015). Módszer az árvízi szükségtározók térfogatának és vízkivételének hidraulikai méretezéséhez. Hidrológiai Közlöny, 95. évf. 4. sz. pp. 33-44.

Szigyártó Z. (2015). Módszer az árvízi szükségtározók térfogatának és vízkivételének a hidrológiai méretezéséhez. Hidrológiai Közlöny, 95. évf. 4. szám. Előírás, Közlekedési és Vízügyi Minisztérium Közúti főosztálya, Budapest,

Völgyesi I. (2018). Szóbeli közlés.

Völgyesi I. (2019). Mértékadó árvízszint és talajvíz-árhullám. Hidrológiai Közlöny, 99. évf. 2. szám.

A SZERZŐ



RÁTKY ISTVÁN Okleveles mezőgazdasági gépészmérnök, okleveles építőmérnök, "IHE,Delft", NUFFIC ösztöndíjjal 10 hónapot töltött Delft, The International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, "Experimental and computational hydraulics" posztgraduális képzésen. PhD fokozatot 1998-ban szerzett. 1970-től a BME oktatója 2009-ig, egyetemi docensként nyugdíjba vonulásáig. Rektori Dicséret 2006; „A vizek kártételei elleni védekezésért ezüst érdemrend”, KvVM 2006. Nyugdíjazása után vendégelőadóként Szent István Egyetem Mezőgazdaság Tudományi Kar, Eötvös József Főiskola Műszaki Fakultás Szakmérnök képzésében és az ELTE Természettudományi Kar

hidrológus szakirányú továbbképzésben előadóként vett részt. 1974-től az MHT tagja, Pro Aqua-emlékérem (2001), Schafarzik Ferenc emlékérem (2016), négy alkalommal részesült Vitális Sándor szakirodalmi nívódíjban. Hidrológiai Közlöny szerkesztő bizottsági tag, 2000-től a Hidraulikai és Műszaki Hidrológiai Szakosztály elnöke. Kutatási területe: árvízmentesítés, árvízvédelem, folyó és tószabályozás, sík- és dombvidéki vízrendezés, belvízvédelem.

Mértékadó árvízszint és talajvíz-árhullám

Völgyesi István

(E-mail: volgyesi.i@gmail.com)

Kivonat

A folyókon levonuló árvizek megmozgatják a felszín alatti vizeket is. Az árvédelmi művek mögött megemelkedhet a talajvíz szintje, akár olyan mértékben, hogy elönti a terepet. Ez ellen - különösen belterületeken - védekezni kell, valamilyen felszín alatti beavatkozással (pl. vízrekesztő falak, szivárgók).

Az árvíz mindig árhullámként jelenik meg. A talajvizekre gyakorolt hatás a tetőzési szint mellett az árhullám tartósságától, illetve a tetőzést megelőző vízszintemelkedés sebességétől, időtartamától függ, sőt az apadó ág jellegétől is. Ezért hatékony védelmi beavatkozások tervezéséhez valamiféle "mértékadó" árhullám ismeretére volna szükség. Ennek hiányában meghatározásra került egy "átlagos árhullám" (1. ábra), a Dunán 1876 óta tapasztalt 31 árvíz adatai alapján.

A dolgozat bemutatja az átlagos árhullám hatását a budapesti Csillaghegyi-öblözet árvédelmi helyzetére, szivárgáshidraulikai modell alapján.

Kulcsszavak

Mértékadó árvízszint (MÁSZ), árhullám-alak, átlagos árhullám, talajvíz-árhullám, fakadóvíz, vízrekesztő fal, szivárgó.

Design flood level and groundwater-wave

Abstract

Flooding on rivers will also move groundwater. Behind the protection works, the groundwater level rises above the surface, to the extent that it inundates the terrain. Because of this, some underground intervention is needed, especially to protect indoor areas, e.g. watertight walls, drains.

Flood always appears as a flood wave. The effect on groundwater depends not from the level of peaking only, but also from the durability of the floodwaters, and depends from the speed and duration of the water level rise before the peak, and even from the nature of the diminution, too. Therefore, in order to design effective protection intervention, some kind of "design flood level" knowledge would be required. In the absence of this, an average flood wave has been determined according to the data of 31 floods on the Danube since 1876 (Figure 1).

The paper presents the effect of the average flood wave on the protection situation of the Csillaghegy bay area in Budapest, based on leakage hydraulic model.

Keywords

design flood level (DFL), water-waveform, average flood, groundwater-wave, breaking water, watertight wall, drain.

ÁRVÍZI TALAJVÍZ-JELENSÉGEK FOLYÓ MENTI TERÜLETEKEN

Árvédelmi töltések mentett oldalán a talajvíz nyomás-szintje néha a terep fölé kerül. Ha a felszín alatt jó vízvezető altalaj található, akkor ez a helyzet szinte minden, a parti terepszintnél magasabb árvíznél kialakul. Ilyenkor a terepen fakadóvizek várhatók. A felfakadás történhet pontszerűen (buzgárok), de koncentrált feltörési pontok nélkül is kialakulhatnak nagy területű elöntések.

A védekezés részben eseti (operatív), például az árvíz idején megjelenő buzgárok ellen kis területeken kell beavatkozni. Ez a felszínen, pl. homokzsákokkal megoldható.

A területi elöntések ellen viszont árvízkor gyakorlatilag már nem lehet védekezni. Ehhez az árvizek előtt megvalósított intézkedések szükségesek, amelyek nem az elöntések kivédésére, hanem azok megelőzésére szolgálnak (preventív védekezés). Olyan, a felszín alá épített védelmi létesítményekről van szó, mint az árvédelmi töltéssel vagy gáttal párhuzamosan, vagy akár azok alatt megépített vízrekesztő falak, illetve szivárgók. A falakkal a jó vízvezető réteget zárjuk le részben, vagy teljes vastagságban, a szivárgók pedig a mégis átjutott vizet távolítják el. Jól mére-

tezett falak és szivárgók segítségével a mentett oldal talajvíze a megfelelő szinten tartható. Erre - főleg belterületeken - szükség van.

A preventív védekezés létesítményeinek tervezésekor felmerül, hogy mekkora (és milyen) lehet az az árvíz, ami ellen védelmet kell nyújtásnak. Ebben a kérdésben nincs szakmai közmegegyezés.

Jogi szempontból az árvédekezés alap-paramétere a 74/2014. (XII. 23.) BM rendeletben meghatározott *mértékadó árvízszint* (MÁSZ). Ez a jégmentes árvizek 1%-os valószínűségű vízhozamából származtatott vízszint. A MÁSZ értékei olyan várható árvízszintet jelölnek, amelyek ellen még úgy érdemes védekezni, hogy annak költségei valószínűleg kisebbek, mint a várható kártétel. A MÁSZ általában magasabb, mint az illető szelvényben korábban mért bármelyik árvíz.

Ha töltések vagy gátak magasságát méretezzük, akkor csak a MÁSZ-ra van szükségünk, illetve a 74/2014. (XII. 23.) BM rendelet kimondja még, hogy az *"elsőrendű árvízvédelmi műveknél a magassági biztonságot valamennyi folyóra egységesen 1,0 méterben kell meghatározni"*. (A rendelet külön megemlíti azokat a vízfolyásokat, ahol na-

gyobb vagy csökkentett magassági biztonságot kell figyelembe venni.) Tehát a töltések vagy gátak magasabbak lesznek, mint a MÁSZ.

Korábban a túlemelést - a hullámverés kártételei mellett - a földtöltések tulajdonságai indokolták. Ezek felső része ugyanis időjárási hatásokra (kiszáradás, újranedvesedés, fagyási jelenségek) repedezetté, morzsalékosává válik, és elveszti védőképességét. Ez a felső ~1,0 m tehát arra szolgált, hogy az alatta lévő töltéstestet megvédje, épségben tartsa. (Manapság a túlemelés kötelezettsége betongátra vagy fémfalakra is érvényben van, bár megfelelő indoklással kisebb túlemelésekre is engedélyt lehet kapni.)

Továbbá azért is szükséges lehet a túlemelés, mert a MÁSZ-nál magasabb árvizek is előfordulhatnak. Kialakulhat ilyen akár már jövőre is. És az operatív védekezés keretében nyilván mindent megteszünk majd a károk elkerülése érdekében, beleértve néhány település lakosságának evakuálását. Ugyanakkor érdemes megvizsgálni, hogy a preventív védekezés létesítményeit szükséges-e a magassági biztonsággal megnövelt árvízszintre méretezni, és megépíteni. A vizsgálat és a döntés elsősorban a költségek és a várható kártétel összehasonlításán kell alapuljon.

A továbbiakban csak a kb. 100 évenként várható, MÁSZ-szal tetőző árhullámokkal számolunk, közelebről a budapesti Csillaghegyi öblözetre és a Római-part térségére figyelembe vehető árhullámokkal

Végül pedig: a folyóban kialakuló tetőző vízszint az árvízi talajvízszint-változások számításához *nem elég. Az árhullámok alakjára is szükségünk lesz.*

AZ ÁRHULLÁMOK TARTÓSSÁGÁNAK SZEREPE

A folyóban levonuló árhullám által indukált szivárgási folyamatokat ugyanis nem csak az árhullám tetőzési szintje, hanem az árvíz tartóssága, illetve a tetőzést megelőző vízszintemelkedés sebessége, időtartama is meghatározza, sőt az apadás jellege is. Ennek megfelelően a mentett oldali talajvízszint emelkedés számításához (a preventív védelmi létesítmények tervezéséhez) a fakadóvíz-elöntés veszélyének vizsgálatához *egy mértékadó árhullámra* volna szükségünk. Meg kell jegyezni, hogy a "mértékadó" szó ebben az esetben *"méretezést megalapozó"* jelentésben szerepel.

A 74/2014. (XII. 23.) BM rendelet *"nem rendelkezik arról, hogy a védelmi műveknek milyen tartósságú árhullámok biztonságos levezetésére kell alkalmasnak lenni, pedig a védelmi műveket a terhelés nagysága és tartóssága figyelembevételével kell megtervezni és megépíteni"* (Nagy 2018). Az árhullámok dinamikájának figyelembevétele a felszínen épített védelmi művek, és a fakadóvíz-elöntések elleni felszínalatti beavatkozások szempontjából is egyaránt fontos lenne. A két kérdés egyébként szorosan összekapcsolódik, hiszen a földtöltések belsejében is "talajvíz" van, ami általában az árvizek apadó ágában vezethet töltésszakadásokhoz. Ez is rámutat az árhullámok alakjának jelentőségére.

Ezért jelen dolgozatban - mértékadó árhullám hiányában - egy *"átlagos árhullám"* meghatározását mutatjuk be. Mint minden jövőben várható esemény becslésénél, most is a korábbi mérések tapasztalataiból kell kiindulni.

A Dunán a Vigadó téri vízmércén 1876-tól folynak észlelések. Azóta 31 komolyabb árvíz alakult ki. Komolyabb árvíznek azt minősítettük, amelynél a vízszint legalább 5 napig elérte az elsőfokú árvízvédelmi készültség (620 cm) szintjét.

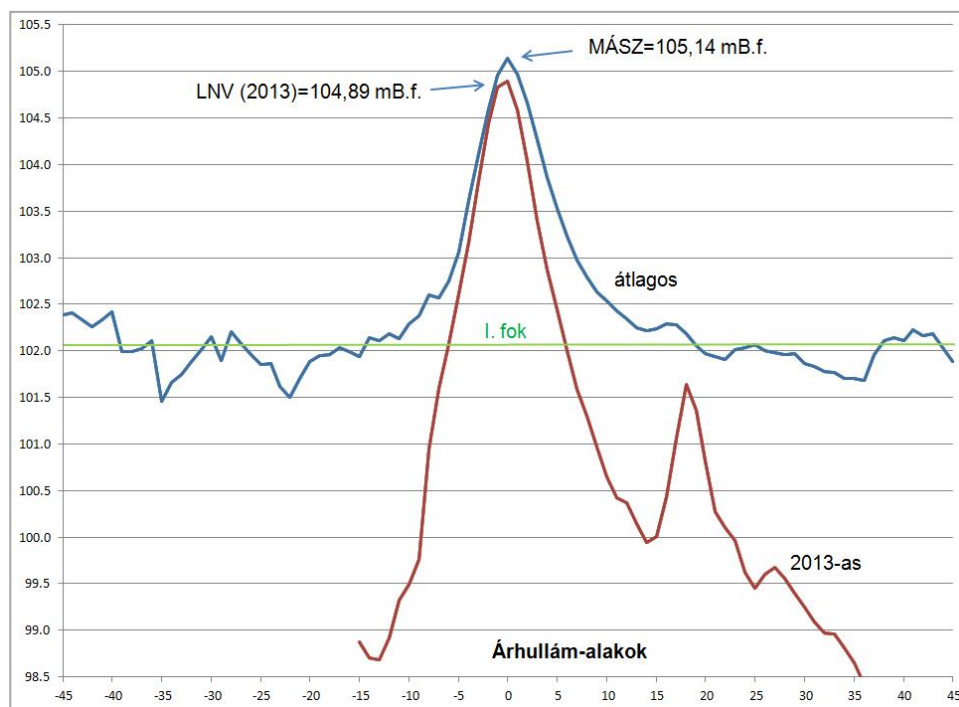
Egy árhullámról akkor állíthatnánk, hogy mértékadó jellegű, ha megfelelne a jelenleg érvényes jogszabálynak, tehát tetőzések eléré a mértékadó árvízszintet (MÁSZ). Ezért a 31 árhullámot nem a tényleges szintjeivel, hanem "transzformálva" vettük figyelembe, minden szintet felfelé tolva, úgy hogy a tetőzési szintek éppen a MÁSZ-hoz kerüljenek. (Ez az egyik lehetőség; más, bonyolultabb megoldások is elképzelhetők.)

Tapasztalatok alapján becsülhető, hogy általában az árhullámok tetőzése előtti és utáni 45-45 napban történő eseményeknek volt hatása a talajvízállásokra, tehát mindegyik árvíznel egy 90 napos időszakot vizsgáltunk, ami azt jelentette, hogy a 31db. árhullámnál számítottuk a tetőzés előtti 1, 2...45 nappal megelőző vízállások átlagát. Ugyanez történt a tetőzés utáni 45 napra vonatkozóan. Így az átlagos árhullám-alak 90 napra vonatkozó adatait kaptuk meg.

Az 1. ábrán látható az így számított átlagos árhullám-alak, illetve az eddigi legmagasabb, 2013-as árhullám alakja is, a tényleges, MÁSZ-nál alacsonyabb tetőzési szinttel. (Ezek a szintek az 1656-os fkm-hez tartoznak, ami a következőkben vizsgált Csillaghegyi-öblözet, illetve Római-part közepetáján van.)

Hangsúlyozni kell, hogy a *hullám-alak* vizsgálata volt a cél, ezért a 31 árhullámnak csak azokat az adatait vettük figyelembe, amelyek ebből a szempontból jellemzőek. Tehát ha egy hullámot követve a -45 vagy +45 nap felé haladva, egy előző vagy következő árhullám már emelkedő szakaszához érteztünk, akkor ezek a pontok már nem kerültek be az átlagolásba. Következésképpen a -45 és +45 nap felé közeledve az átlagot jelentő vonal már egyre kevesebb, tehát már nem 31 pont alapján számított. Másrészt is lehetett volna számolni, mégis ezt a megoldást választottuk, mert az így adódó eredményben határozottabban, erősebben jelenik meg az árhullámok alakjának szerepe.

Látható, hogy az átlagos árhullám a tetőzés környékén nem sokkal nagyobb tartósságú, mint a 2013-as, viszont a tetőzést megelőző és az azt követő hetekben jóval magasabb, az I. fokú árvízvédelmi készültségnek megfelelő vízszinteket produkál, ennek következtében a part közelében a talajvíz már jóval a tetőzés előtt megemelkedik, a felszín alatti póruster feltöltődik. Ezután az áradó árhullám-szakasz már "könnyebben", kisebb vízmennyiségek betáplálásával tudja létrehozni azt a talajvíz árhullám-csúcsot, ami esetleg már veszélyt jelent.



1. ábra. Árhullám alakok (Duna, 1656 fkm.)
Figure 1. Flood wave shapes (Danube, 1656 RKM)

A RÓMAI-PART TALAJVIZEI 2013-BAN ÉS EGY ÁTLAGOS ÁRHULLÁM ESETÉN

A továbbiakban - szivárgáshidraulikai modelledmények alapján, felhasználva a korábbi árvédelmi rendszerekre vonatkozó modellezési tapasztalatokat is (Völgyesi 2004) - bemutatjuk, milyen következményekkel járna egy, a fenti módon előállított *átlagos* árhullám a *2013-as tényleges* árhullám hatásaihoz viszonyítva.

A modellszámítások célja az, hogy méretezhessük azokat a beavatkozásokat (vízrekesztő falak, szivárgók), amelyekkel a talajvíz káros megemelkedését, esetleg felszínre törését megakadályozhatjuk. A Csillaghegyi-öblözet területén ennek azért van az átlagosnál nagyobb jelentősége, mert itt természetes állapotban intenzív talajvízáramlás van a Ny-i perem dombjai felől, aminek - dunai középvi-zek és még alacsonyabb vízszintek esetén - a folyó a befogadója. Ez az állapot változik meg árvízkor, a Ny felől jövő áramláshoz hozzáadódik egy - a Dunából induló - ellenkező irányú áramlás, és ez a két hatás jelentős talajvíz-szint-emelkedéseket okozhat.

A dombok felől érkező áramlást nehezen tudnánk befolyásolni, tehát a védelem célszerűen a Duna partján építhető meg. Különböző beavatkozásokat modellezve előrejelezhetjük a várható talajvízszint-emelkedéseket.

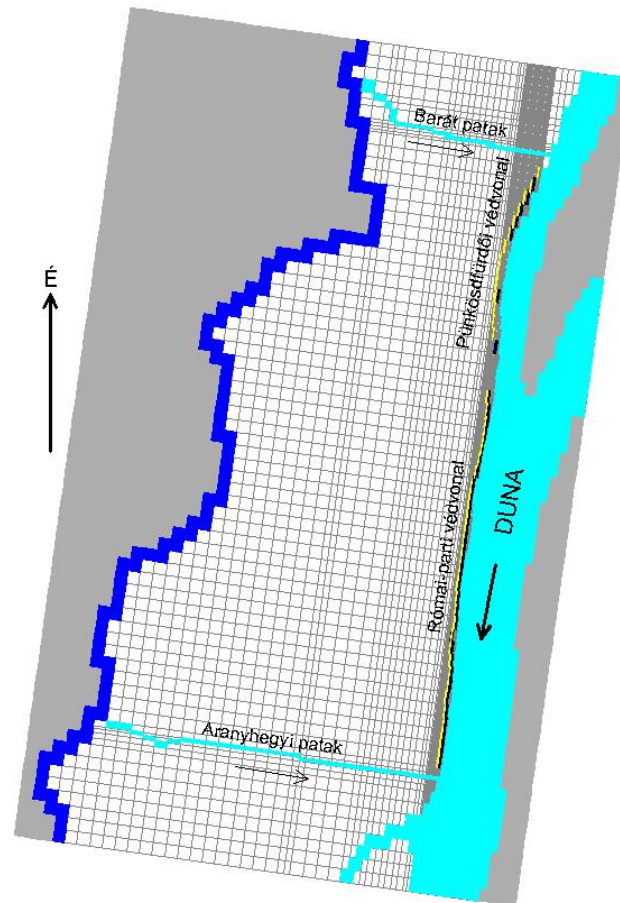
A modell a Processing Modflow szoftver 5.3-as változatával készült. A vizsgálatba bevont területre felvett rács-háló felülnézetét a 2. ábrán adtuk meg; a háló a Dunajobbpart közelítő irányával párhuzamosan felvéve csökkenteni lehetett a véges-differencia módszernek megfelelő cellák számát. K-en tehát a Duna a határ, a mederkapcsolati ellenállást a szoftver lehetőségeinek megfelelő paraméterek beállításával vettük figyelembe. Nyugaton - az öblözetet szegélyező dombok lábánál - állandó potenciálú határt alkalmaztunk, az ott lévő észlelőkutak vízszintje alapján felvéve. Szerepel a modellben a Barát-patak és az

Aranyhegyi-patak, továbbá beépültek és működtethetők a pünkösdfürdői meglévő, és a Római-parti tervezett vízrekesztő falak és szivárgók is. A 2013-as modellfutatsnál értelemszerűen csak a pünkösdfürdői egységek szerepelnek.

Elsősorban a kavicsréteg vízrekesztő fallal (rés- vagy szádfallal) történő részleges lezárását, illetve a káros vizek kivezetésére tervezett szivárgók hatását vizsgáltuk. A feküig történő lezárás árvízmentes időkbén káros lehet, emiatt olyan fal hatását modelleztük, amelyik csak a kavicsréteg vastagságának felső 80%-át zárja le. Így - az alsó 20%-os sávban - a talajvízáramlás az öblözet és a Duna között továbbra is lehetséges. A 80-20%-os arány több próbálkozás, több modellfutats eredményei alapján bizonyult optimálisnak.

A szivárgó talpmélysége 4-5 m, a kavicsréteg fedőszintjétől függően. A talp mindenütt 0,2 m-rel alacsonyabb, mint a kavics fedője. A szivárgók esetében feltételeztük, hogy a bejutó víz - akkor is, ha időben változó mennyiségű - maradéktalanul eltávolításra kerül. Meg kell jegyezni, hogy a talajvízszint - a mérések alapján, bizonyos szakaszokon - a kavicsrétegen belül mélyebben van, mint az így felvett szivárgó fenékszintje. Tehát ezeken a szakaszokon csak akkor lép működésbe a szivárgó, ha az árvíz a talajvízszinteket megemeli.

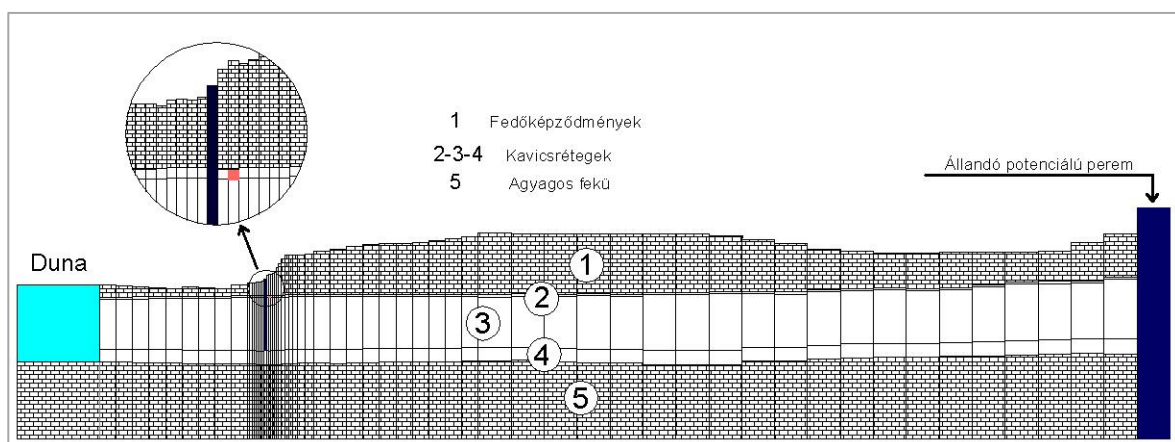
A modell egy keresztmetszvénye a 3. ábrán látható. Ebben a Dunára merőleges szelvényben öt modellréteg írja le a meglehetősen egyszerű földtani felépítést. Az 1-es réteg a fedő, az 5-ös az oligocén agyagos fekü. A 2, 3 és 4-es rétegek mindegyike a vízvezető kavicsokhoz tartozik, a valódi réteg három modellréteggé való szétbontása azért volt szükséges, hogy modellezni lehessen a réteg alsó 20%-ának szabadon hagyását (a 4-es rétegbe már nem ér le a fal), illetve a csőszerű szivárgó elhelyezését a 20 cm vastagságú 2-es rétegben. A fal és a szivárgó helyzetét a felül kinagyított rajzrészben szemléltetjük.



2. ábra. A modell rácshálójának felülnézete (Csillaghegyi-öblözet térsége)
Figure 2. Model-grid plan view (Csillaghegy bay area)

A legfontosabb paraméter, a szivárgási tényező (szabatosan átértékelt együttható) előzetes becslése a Duna mentén korábban sok helyen meghatározott értékek alapján történt. Megállapítható volt, hogy Rajkától Mohácsig 800-1000 m/d-től 20-30 m/d-ig változnak ezek az értékek annak megfelelően, hogy a Duna

milyen távolsáig milyen durva, vagy éppen már csak finomabb szemű hordalékot volt képes szállítani, illetve lerakni. Ennek alapján a Csillaghegyi-öblözet szelvényére kb. 150 m/d volt interpolálható, aminek nem mond ellent a terület néhány próbaszivattyúzásból kapott 85-250 m/d-os eredmény.



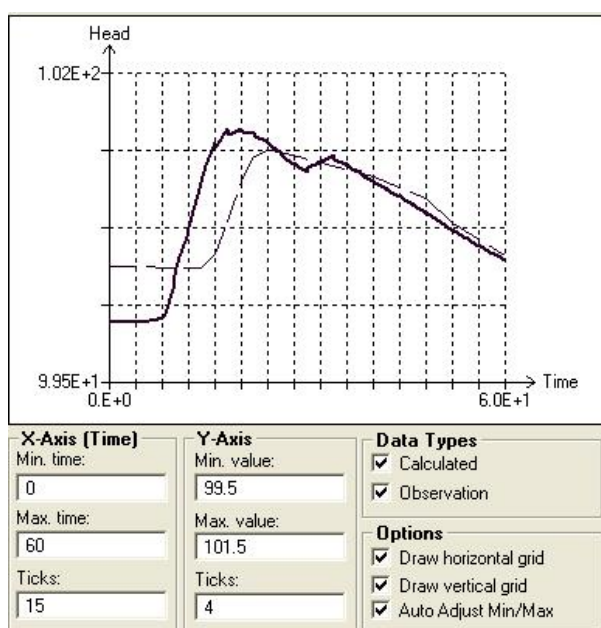
3. ábra. Modell keresztmetsvény
Figure 3. Model cross section

A modell kalibrálásra két lehetőség volt. *Elsősorban permanens állapotra kalibráltunk.* Közepes dunai vízállásokhoz tartozó átlagos talajvízszintet 23 db. kútban tudtunk meghatározni, ezeket felhasználva pontosítottuk a szivárgási paramétereket, majd előállítottuk az öblözet átlagos nyugalmi talajvízszintjét. Ennek kutankénti átlagos hibája

0,33 m, ami a teljes modellezett vízszintváltozás (103,8-tól 98,7-ig 5,1 m) 6,5%-a. Mindazonáltal helyenként méteres hibák is adódtak, ami valószínűleg annak köszönhető, hogy a mért értékek időben egymástól nagyon távol esnek (egyes kutak adatai 35-40 évvel ezelőttiek), továbbá a belterületi talajvízszintek mozaikos változékonysága nem a regionális

áramlási viszonyokat, hanem gyakran lokális állapotokat (pl. egy felszín alatti csótörés) jelezhet. Pontatlanságot okozott az is, hogy a talajmechanikai fúrásokban csak a „megüött”, és nem a nyugalmi talajvízszinteket mérték.

Az időben változó talajvízszintek *tranzien modelle*zése alapján történő kalibrálás még több nehézséggel járt. Különösen a talajvízszintek időbeni változásaira, a dunai árhullámokkal való kapcsolat kimutatására lett volna szükség. De mindössze három olyan észlelőkút volt, amelyekből a 2013-as árvíz alatti mérések (Trischler 2013) használható eredményekre vezettek. A mért és számított értékek (nem túl jó) illeszkedését az 4. ábra illusztrálja, ezen egy, a Dunától 630 m-re lévő kút adatai láthatók a tetőzést megelőző, illetve követő, összesen 60 napos időszakra. A számított tetőzés (vastag vonal) 15 cm-rel magasabban alakult, illetve kb. 5 nappal korábban következett be, mint a mérések szerint (vékony szaggatott vonal).



4. ábra. Mért és számított talajvíz szintek
(V/1 megfigyelőkút a 2013-as árhullám 60 napos időszaka alatt)
Figure 4. Measured and computed groundwater levels
(V/1 observation well during the 60-days period of the flood of 2013)

A modellezés kimutatta, hogy egy átlagos árhullám esetén magasabb talajvízszintek alakulnának ki, mint ami 2013-ban észlelhető volt. 2-4 m-es mélységek helyett csak 1-3 m-es mélységeket jelez a modell, sőt - néhány kis foltban terep feletti nyomásszintek is megjelennek - a tetőzés napjaiban.

Számos további eredmény közül most csak a tranzien számításokkal meghatározott vízmérlegeket mutatjuk be. Az 5. ábrán annak az utolsó kétnapos periódusnak a víz-háztartási jellemzői szerepelnek, amelyben - mindkét esetben - a tetőzés kialakult. A modellezés legfontosabb gyakorlati célja a tervezett szivárgórendszerből eltávolítandó vízmennyiség meghatározása volt, és éppen ebben a periódusban lesz a szivárgórendszer hozama is maximális.

Az öblözet teljes vízforgalma (összes ki- és belépő vízmennyiség) nem nagyon különbözik, viszont ezen belül az egyes rész-mennyiségek nagyon is eltérőek. Az eltérések legfőbb oka az, hogy az átlagos árhullám lényegesen nagyobb tartósságú.

Tranzien modelleknél figyelembe kell venni, hogy a vízmérleget nem úgy értelmezzük, mint permanens állapotban. (Permanens esetben kötelezően egyensúlyt mutatnak a modellek; időtől független állapotban a ki- és belépő vízmennyiségeknek meg kell egyezniük, mert ha például a belépő vízmennyiség folyamatosan nagyobb lenne a kilépőnél, akkor a vizsgált rétegek - felrobbannának?)

Tranzien esetben - a folyamat egy kiragadott kétnapos állapotában - a talajvízszint folyamatosan emelkedik, emiatt a dinamikus változó modellteréből (a kétfázisú zónából, ahol a modell vízmozgást számol) víz lép ki felfelé, és az eddig háromfázisú, "száraz" póruster feltöltődik. Ez a mennyiség szerepel az ábrákon "Kilép a modellből" megjelöléssel. Pontosabban arról van szó, hogy a Duna felől egyre nagyobb mennyiségben érkező víz betározódik. (És ebből a betározott pórúsvízből kaphat utánpótlást a talajvíz-rezsim, ha majd a szintek süllyedni kezdenek.) Az átlagos árhullámnál ez a tározódó vízmennyiség lényegesen kisebb, mint a 2013-asnál, mert ebben az esetben a talajvízszint-emelkedés jórésze már a vizsgált kétnapos periódus előtt megtörtént.

A másik nagy különbség a Ny-i perem felől érkező víz mennyiségében van. Az átlagos árhullám magasabb talajvízszintet hoz létre a területen, ezért a perem és a belső területek közti gradiens kisebb lesz. (Elvileg elképzelhető olyan magas árvíz is, amelyik egyáltalán nem teszi lehetővé, hogy a peremek felől víz érkezzon.)

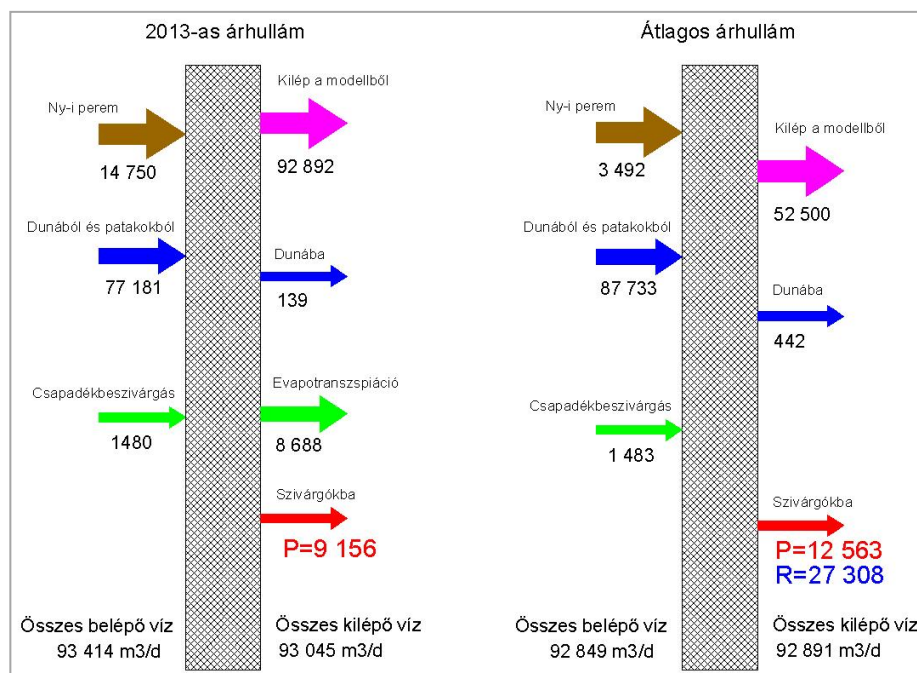
Továbbá: az átlagos árhullám vizsgálatokor nem vetünk figyelembe evapotranszpirációt. Ez egy olyan elhanyagolás, ami egy télen kialakult átlagos árhullám viszonyait veszi figyelembe. Ilyenkor állhat elő a legnagyobb szivattyúzási igény. (A 2013-as árvíz nyáron volt, ennél szükség volt az evapotranszpiráció számítására a valósághoz közeli kalibráció érdekében.)

Végül pedig nagy különbséget jelez a modell a szivárgókba érkező vízmennyiségeknél, ez azonban azért van, mert a két modellfuttatás két különböző állapotot szimulál:

- 2013-ra csak a nem teljes kiépítésű pünkösdfürdői drének hozamát számította a modell, ez $9\,156\text{ m}^3/\text{d}$. (az ábrán P-vel jelölve),
- az átlagos árhullámra tervezett állapotban pedig $12\,563\text{ m}^3/\text{d}$, ami a teljesen kiépített pünkösdfürdői drének hozama (szintén P-vel jelölve),
- szintén átlagos árhullámra a $27\,308\text{ m}^3/\text{d}$ pedig csak a Római-parti dréneké (R-rel jelölve).

A drénhozamokkal kapcsolatban némi lehetőségünk nyílt a modell és a valóság összehasonlítására: 2013-ban a pünkösdfürdői drén maximális hozama - a tetőzés napján - a számított $9\,156\text{ m}^3/\text{d}$ helyett $14\,370\text{ m}^3/\text{d}$ volt. Igaz ugyan, hogy ez utóbbi érték meglehetősen bizonytalan, talán az áttemelőtelepekhez nem csak szivárgó víz érkezett. Továbbá a pünkösdfürdői védvonalon kiépített ún. JET fal és a szivárgó kialakítása nem pontosan ismert, ezért lehet, hogy a modell nem a tényleges helyzetet írja le.

Korábban különböző határfeltételekkel több modell készült a tervezett Római-parti drének hozamának meghatározása céljából, az árhullámok dinamikájának figyelembevétel nélkül (BME 2017), tehát úgy, mintha a Duna vize folyamatosan a MÁSZ (vagy a fölötti) szinten állna.



5. ábra. A modell vízmérlegei a tetőzés előtti két napos periódusra, [m³/d]
Figure 5. Water balances for the periods of 2 days before the peak, [m³/d]

518 000 m³/d és 778 000 m³/d közötti hozamok adódtak a vizsgált 3,2 km hosszban. Ez kb. 20-szor több, mint az általunk számolt mennyiség. Több, mint Budapest vízfogyasztása. Ennyit a Szentendrei-szigeten kb. 40 km hosszú partszakaszon tud termelni a Fővárosi Vízművek, pedig ott a termelő létesítmények és a folyó között nincs vízrekesztő fal.

ÖSSZEFOGLALÁS

Folyómenti területeket néha nem csak a felszíni elöntés ellen kell (gáttal) védeni, hanem a megemelkedő talajvízszintek miatt is - főként belterületeken. Ilyenkor a védelmet ki kell egészíteni a felszín alatti vizek mozgását célszerűen befolyásoló elemekkel is (vízrekesztő fal, szivárgó).

Ez utóbbiak tervezéséhez figyelembe kell venni a terhelést jelentő árhullám tartósságát, illetve alakját. Olyan árhullám-alakra lenne szükség, amelyik valamilyen tervezési cél szempontjából mértékadó. Előállítottunk - eddig előfordult árhullámok alapján - egy átlagos árhullámot, és összehasonlítottuk ennek talajvízszintre gyakorolt hatását a 2013-as tényleges árhullámmal. A Csillaghegyi-öblözet területére megállapítottuk, hogy az átlagos árhullám kb. 1 m-rel magasabb, veszélyesebb talajvízhelyzetet eredményez.

A SZERZŐ



VÖLGYESI ISTVÁN okl. geológus mérnök (1962), okl. vízépítő mérnök (1976), egyetemi doktor (1983). A Víziter, majd az Aquarius Kft. munkatársa 1998-ig. Azóta saját vállalkozásban tervezőként, szakértőként dolgozik. Több évet töltött Mongóliában és Algériában hidrogeológusként. Főbb működési területei: szivárgás-hidrologiai modellezés, felszínalatti vízkészletek, felszíni víz - talajvíz kölcsönhatások gyakorlata és elméleti vizsgálata.

Átlagos árhullámot vagy árhullám-alakot többféle módszerrel is számítani lehet. Mivel nem várható, hogy egy mértékadó árhullám meghatározására - jogszabályban - sor kerül, ezért a védőrendszer méretezése továbbra is a tervezői felelősség keretében marad. Lényeges, hogy az árhullámok dinamikáját a tervezés mindenképpen vegye figyelembe, mert az általános gyakorlat, a folyamatosan MÁSZ szintű árvíz alkalmazása jelentős túlméretezésekhez, felesleges költségekhez vezet.

IRODALOMJEGYZÉK

- Nagy I. (2018). Tévúton a magyar árvízvédelem? Hidrológiai Közönlöny, 98. évfolyam 2. szám, pp. 67–74.
- BME (2017). Összehasonlító szakértői értékelés a csillaghegyi öblözet árvízvédelmi fejlesztésének kérdéseiről. BME Geotechnika Tanszék. <https://bit.ly/2RFzHTk>
- Trischler (2013). Parti szivárgási vizsgálatok a Római parton, Csillaghegyen, Mocsároson végzett talajvízszint-mérések alapján. Trischler Kft., Szakértői jelentés, Budapest, 2013. július. Kézirat.
- Völgyesi I. (2004). Árvédelmi töltések szivárgáshidrologiai modellezése. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Vízügyi Hivatala: Árvízvédekezés a gyakorlatban, Budapest, 2004. <http://volgyesi.uw.hu/dokuk/toltszivhidr.pdf>

A síkvidéki hidrológia és a belvíz vizsgálata folyamatalapú modellezéssel: kihívások és lehetőségek

Kozma Zsolt

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (kozma.zsolt@epito.bme.hu)

Kivonat

A síkvidéki vízgyűjtőkön végbemenő hidrológiai folyamatok, így a belvíz számszerűsítése a mérési, térinformatikai és szimulációs eszköztár fejlődése ellenére a mai napig kihívást jelent. A dolgozatban szakirodalmi áttekintést nyújtok a jelenség soktényezős hidrológiai leírásáról, az adatellátottság helyzetéről és az elérhető matematikai modellekről. A folyamatalapú szimulációs eljárásokkal kapcsolatban kitérek a szoba jövő modellek korlátaira, a modellépítés és a kalibráció nehézségeire, külföldi tapasztalatokra. Hazai alkalmazási példákkal szemléltetem, hogy az elemzések célja (például az elöntést, a lefolyást, a talajvízszinteket, vagy egyidejűleg mindkettőt akarjuk-e leírni), illetve tér- és időléptéke hogyan befolyásolja az eredmények alakulását. A Szamos-Kraszna Közi belvízvédelmi rendszer példáján keresztül összevetem a különböző módszerekkel (terepi szemrevételezéssel, szintézistérképezéssel, hidrológiai modellezéssel) készült veszélyeztetettségi térképeket. Végül a belvíz kár- és kockázat szempontú megítélésével kapcsolatban röviden kitérek az ökoszisztéma szolgáltatások jelentőségére.

Kulcsszavak

Belvíz, hidrológiai modellezés, kalibráció, elöntés és veszélyeztetettségi térkép, Szamos-Kraszna Köz, ökoszisztéma szolgáltatások

Process based modelling of lowland hydrology and excess water: challenges and opportunities

Abstract

Despite the recent development of observational, GIS and simulation tools, the quantitative description of lowland catchments and the phenomenon of excess water is still a challenging task. This paper provides a literature overview about the hydrological description of excess water, the relevant mathematical models and data availability. The advantages and limitations of some process-based simulation algorithms is discussed as well as the general experience and most important difficulties of practical model building and calibration. I refer to pilot applications from the Hungarian Great Plain to illustrate the significance of research goals, choice of methods and spatio-temporal scales as these have a great influence on the expected results. Excess water hazard maps are compared for the Szamos-Kraszna Interfluve in order to give an overview about the different available mapping methods (field survey, regression kriging, hydrologic modelling). Finally, the importance of ecosystem services is briefly discussed: the quantification and mapping of different provisioning and regulating services can foster the reduction of losses and risks caused by water shortage and surplus.

Keywords

Excess water, hydrologic modelling, calibration, inundation and hazard maps, Szamos-Kraszna Interfluve, ecosystem services

BEVEZETÉS

A hazai síkvidéki vízgyűjtők különleges szélsősége a belvíz. Jelentőségét visszatérő terepi tapasztalatok, számos adat és tanulmány igazolja (Pálfai 2004, Bíró 2016), okait, hatásmechanizmusát, befolyásoló tényezőit és bekövetkezésének valószínűségét a hazai szakirodalom részletesen tárgyalja, kiforrott módon térképezi (Rakonczai és társai 2011, Szatmári és van Leeuwen 2013, Pásztor és társai 2015). A szélsőség sokrétű környezeti és gazdasági következményei szintén jól ismertek, ugyanakkor azok precíz számszerűsítése a korlátos adatellátottság miatt a mai napig kihívást jelent (Pinke és társai 2018). Ez különösen igaz a károk – ideértve a mezőgazdasági és infrastrukturális károk mellett a védekezés állandó és eseti költségeit is – statisztikai jellemzésére és az erre alapuló kockázattérképezésre. A helyzetet a kárszámítás terén tovább árnyalja a belvíz kapcsolódása az aszályhoz. A térben és időben gyakran átfedő két hidrológiai szélsőség, a "sok víz-keves víz" problémakör összehangolt kezelése hosszú ideje a hazai területi vízgazdálkodás egyik megoldandó feladata. Ezen a téren a műszaki-technológiai fejlődés mellett a Víz Keretirányelv (EU VKI) által elvárt, és az Országos Vízügyi-gazdálkodási Tervben (OVF 2015) előírt preventív, integrált szemlélet gyakorlatba ültetése jelenthet elmozdulást (vízviszátartás, nem kizárólag vízügyi megoldások,

ágazati kapcsolódások stb.). A belvíz értelmezésében alapvető szemléletváltást eredményezhet a különféle ökoszisztéma szolgáltatások (ÖSz) figyelembevétele (Kovács és társai 2011, Szöllősi-Nagy 2018). A síkvidéki vízgyűjtők hidrológiai modellezése a gyakorlati területi vízgazdálkodás és az elméleti megközelítésű határterületi kutatások számára is értékes információkkal szolgálhat. A dolgozatban az idevágó hazai és nemzetközi irodalom mellett a Szamos-Kraszna Közre végzett elemzéseink néhány eredményét, tanulságát mutatom be.

MÓDSZERTANI ÁTTEKINTÉS

Javuló technikai háttér

A belvíz hidrológiai és kockázatalapú vizsgálata az elmúlt időszakban jelentős módszertani előrelépésen ment keresztül. Ennek háttérében négy kulcsfontosságú terület fejlődése áll: (1) automata hidrometeorológiai monitoring, (2) távérzékelés, (3) térinformatikai megoldások és adatbázisok, valamint (4) hidrológiai folyamatok matematikai szimulációjának technikai háttere. Az (1)-(3) területek eredményeiről általánosságban a következőket érdemes kiemelni: a monitoring hálózat fejlesztése a különböző módszertannal elvégzett regressziós és vízmérleg számításokhoz, továbbá az előrejelzéshez szolgáltató folyamatosan javuló tér- és időbeli részletességű alapadatokat (Fiala és

társai 2018). Az egyre nagyobb felbontású és rövidebb visszatérési idejű ürfelvételek feldolgozása révén jelentősen javult a jelenség dinamikájának nyomon követése, a nyílt vizes és átmedvesedett területek lehatárolása, továbbá a veszélyeztetettség tapasztalati térképezése (Csendes és Mucsi 2016, FÖMI 2017, URL1). A nagy mennyiségben elérhetővé váló környezeti adat pedig lehetővé tette a belvív hatótényezőinek térinformatikai szintézisét, aminek kiemelkedő példája az országos léptéken alkalmazott komplex belvívveszélyeztetettségi valószínűség térkép (Bozán és társai 2018). A Mezőgazdasági Parcella Azonosító Rendszer (MePAR) és a Komplex Mezőgazdasági Kárenyhítési Rendszer (KMKR) által nyilvántartott támogatási és kárenyhítési igénylések pedig a belvízhez köthető mezőgazdasági károk feldolgozásában jelenthetnek támpontot.

A három felsorolt szakterület eredményei kedvező feltételeket biztosítanak a matematikai modellek egyre szélesebb körű alkalmazásához. Ez a belvív esetén fontos fejlemény: a jelenség soktényezős, bizonytalanul mérhető, így a korrekt numerikus leírása során az adatellátottság és a technikai feltételek jelentik az egyik fő kihívást. Ugyanakkor a térben osztott, folyamatalapú hidrologiai modellezés ígéretes kutatási irány is: egyesíti a statikus térképi és dinamikus vízmérleg alapú módszerek előnyeit, továbbá új lehetőségeket biztosít a kockázattérképezéshez és a különböző tervezési variánsok, forgatókönyvek elemzéséhez is (Kozma és társai 2013).

Folyamatalapú modellek

A belvív folyamatalapú, részletes térbeli vizsgálatára több, a hazai gyakorlatban elterjedt szoftver merülhet fel. Ilyenek pl. a HEC-HMS (US ACE 2000), a HYDRUS (Simunek és társai 1998), a MODFLOW (McDonald és Harbaugh 1988) vagy a SWAT modell (Whittaker és társai 2010). Ezek alkalmazása egyes hidrologiai – és kapcsolódó vízminőségi – részfolyamatok jobb megértéséhez kifejezetten hasznos lehet, azonban a belvív esetén összességében mégis jelentős kompromisszumot és elhanyagolásokat jelent. A HEC-HMS és a SWAT erőssége elsősorban a felszíni folyamatok, a párolgás, csapadék-összegyülekezés és mederbeli vízmozgás leírása. Mivel a működésük térbeli alapja a részvízgyűjtő/hidrologiai válaszegység, így nem képesek közvetlenül figyelembe venni a felszínen időszakosan kialakuló előntések lefolyására gyakorolt hatásait, továbbá a talajvíztükör térbeli változásait. A HYDRUS modelles család egy, két, vagy háromdimenziós változata a telítetlen talajokban végbemenő szivárgási folyamatok részletes elemzését teszi lehetővé. Segítségével vizsgálható pl. a talajadottságok és a talajművelés hatása a felszíni vízborításra belvizes területen (Farkas és társai 2009, Kozma és társai 2014) vagy vizes élőhelyeken (Ács és Kozma 2017; Decsi és társai 2017). Ugyanakkor dimenziószámától függetlenül a HYDRUS csak egy-egy talajszelvényre, illetve lokális léptékre korlátozódik, emellett a felszíni és mederbeli összegyülekezés leírására nem használható. A MODFLOW algoritmusra épülő szabad és kereskedelmi szoftverek a talaj- és rétegvíz mozgások széleskörű számítására képesek, így például folyók, drénrendszerek és állóvizek is megadhatók külső, előre definiált peremfeltételként. A belvív szempontjából mégis alapvető hátrányt jelent, hogy ezek figyelembevétele nem

dinamikusan történik, továbbá a MODFLOW nem kezelni a felszíni lefolyást.

Ezek a hiányosságok nem csak a síkvidéki előntések, hanem más hidrologiai folyamatok leírása során is korlátot jelentenek. Ezért az elmúlt 10-15 évben komoly törekvések történtek a különböző részfolyamatokra, közegekre kidolgozott nagy múltú modellek integrációjára (pl. HYDRUS-MODFLOW, Twarakavi és társai 2008, HEC-RAS-MODFLOW, Rodriguez és társai 2008, SWAT-MODFLOW, Kim és társai 2008).

Integrált hidrologiai modellek

A fent említett fejlesztések mellett is megállapítható, hogy a belvízre jellemző tér- és időbeli változások teljeskörű szimulációjára az osztott paraméterű, integrált hidrologiai modellek (rövidítve IHM, Daniels és társai 2011) a legalkalmasabbak. Az ilyen típusú modelleket eleve azzal a szándékkal dolgozzák ki, hogy velük a hidrologiai körforgás folytonos kölcsönhatásban levő elemeit vízgyűjtő léptéken, szinkronizáltan, a felhasználó manuális beavatkozása nélkül lehessen vizsgálni. Az IHM-ek algoritmus szinten kapcsolják össze a területi jellegű (csapadék, intercepció, evapotranszspiráció, felszíni lefolyás, ill. felszín alatti vízmozgás a telítetlen és telített zónában) és a mederbeli folyamatok hidrologiai-hidrodinamikai leírását. Az egy-, két- és/vagy háromdimenziós alapegyenletek kapcsolt numerikus megoldásával jellemzően grid-sorozatok, hossz-szelvények és idősorok formájában nagy mennyiségű, térben és időben változó, illetve aggregált vízházartási adat áll elő. Az eredményként kapott állapotváltozók és vízforgalmi elemek tipikusan: felszíni tározás (~vízborítás) és lefolyás, növényi intercepciós tározás, evapotranszspiráció, beszivárgás és talajnedvesség, felszín alatti szivárgás és nyomáseloszlás (~talajvíztükör), mederbeli vízszintek, vízhozamok, felszín-meder és talajvíz-meder vízforgalom. A modellek több esetben tartalmaznak a vízmennyiségi számításokra épülő eróziós és vízminőségi modulokat is. A nemzetközi irodalomban számos példát találhatunk szabad hozzáférésű vagy kereskedelmi forgalomban levő IHM-ekre. Néhány példa:

- Szakirodalmi áttekintést adó cikkek: Spanoudaki és társai (2009), Fatichi és társai (2016)
- Integrated Hydrologic Model (InHM): VanderKwaak és Loague (2001)
- LISEM modell: De Roo és társai (1998)
- MIKE SHE modell: Graham és Butts (2006)
- PAWS modell: Shen és Phanikumar (2010)
- WateRisk modell: Koncsos (2011), Kozma és Pardička (2011)

Az eltérő célokra kidolgozott algoritmusok közül csak néhány képes a belvízre jellemző sajátos elvárásoknak megfelelni. Ilyen hidrologiai-hidraulikai kritériumot jelent többek között: fizikai megalapozottság; a felszíni és felszín alatti vizek explicit, cellaalapú leírása; a felszíni összegyülekezés során a vízborítás, míg vízfolyásokban a hurkos, szárazra kerülő medrek kezelése; műtárgyak (át ereszek, szivattyúk, zsilipek) figyelembevétele; a mederfelszíni víz és a meder-felszín alatti víz kapcsolatok leírása. A gyakorlati felhasználás pedig további számítási

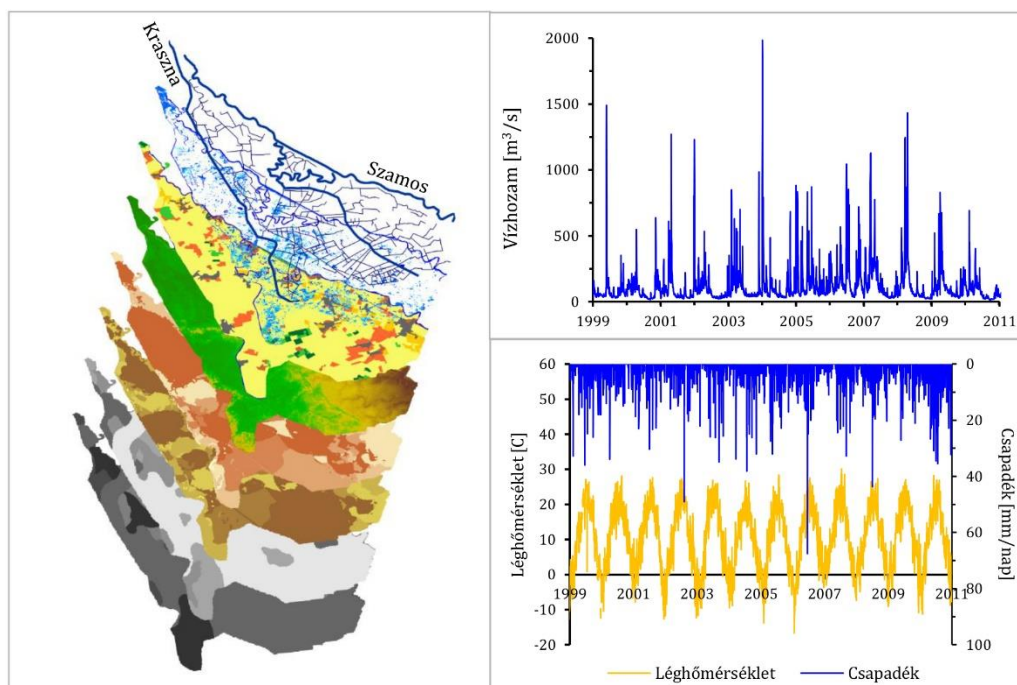
technikai feltételeket is támaszt, úgymint könnyen használható, stabil felhasználói felület (GUI), gyors szimuláció, elő- és utófeldolgozási funkciók, jó dokumentáltság és fejlesztői támogatás.

Részben a fentiekkel magyarázható az, hogy bár a hidrológiai folyamatok numerikus modellezése jelentős hazai iskolával rendelkezik, és az adatellátottság terén is érdemi javulás történt, a síkvidéki vízgyűjtők dinamikus, osztott paraméteres szimulációjára egyelőre mégis csak kevés alkalmazási példa ismert.

Az elérhető IHM-ek közül a tapasztalatok alapján a feladatra alkalmasnak bizonyul a MIKE SHE modell (illetve a MIKE SHE-MIKE 11 kapcsolt modell). Több tanulmány bizonyítja, hogy az évtizedek óta fejlesztett szoftver képes a vízmérleg komponensek realiztikus becslésére, emellett különböző vízkormányzási (Bohlen és társai 2014) és területhasználati beavatkozások (Duranel 2015) hatásainak leírására, előre jelzésére. Emellett számos esetben használták már wetlandek (lápok, mocsarak, nedves gyepek, egyéb vizes élőhelyek) leírására is (Thompson és társai 2004, Liu és társai 2007). Ma és társai (2016) részletesen tárgyalják, milyen lehetőségek és nehézségek merülnek fel a MIKE SHE ökohidrológiai célú alkalmazása során. A vizes élőhelyeken elért sikerek jelentőségét az adja, hogy esetükben sokszor hasonló hidrológiai folyamatok dominálnak, mint a ma belvíz járta, de egykor szintén vizes élőhely jellegű területeken. Ezt támasztja alá az is, hogy hazai viszonylatban több belvízöblözet lefolyás viszonyait vizsgálták már MIKE SHE-vel (Benyhe és társai 2014, Právetz és társai 2015, van Leeuwen és társai 2016, VITUKI 2017).

A nemzetközi gyakorlatban elérhető szoftverek hazai alternatívájaként, egy kutatás-fejlesztési projekt keretében készült el a WateRisk Integrált Hidrológiai Modell (WR-IHM), amit munkatársaimmal elsősorban síkvidéki vízgyűjtők vizsgálatára használtunk: éghajlati-vízkormányzási-területhasználati forgatókönyvek elemzése több mintaterületen (Koncsos 2011, Jolánkai és társai 2012), belvíz veszélyeztetettség és kockázatterképezés a Szamos-Kraszna Közben (Kozma és társai 2013), a klímaváltozás és a vízpótlás hatásai a Duna-Tisza közti Homokhátságon (Kardos és Koncsos 2018) és ökológiai fókuszterületek kijelölésének alternatívái a Marosközépgyben (Ungvári és társai 2018).

A konkrét szoftvertől függetlenül a számítások a környezeti viszonyok tér- és időbeli változásait leíró nagy mennyiségű térképes, táblázatos és idősoros adatra alapulnak, melyeket a vizsgált terület térinformatikai adatmodellje tartalmaz. A bemenő adatok általában öt csoportba sorolhatók: geometria, paraméterezés, kezdeti- és peremfeltételek és a számítások kalibrálására, ellenőrzésére használt adatok. Az 1. ábra a Szamos-Kraszna Közre kidolgozott WR-IHM adatmodell néhány jellemző térképi és idősoros elemét mutatja be szemléltető jelleggel. A szimulációkhoz használt térképi állományok a nagy számítási igény miatt 100 m felbontásúak, a vektorosan kezelt meder-hálózat 800-nál több kereszttszelvényt, 7 szivattyút és 26 zsilipet tartalmaz, a hidrometeorológiai idősorok napi lépésközűek (az adatbázis részletes ismertetése megtalálható: Kozma 2014). Az adatmodell és az arra alapuló számítások az azóta megépült Szamos-Kraszna Közi árvízi véstározó megépítése előtti állapotokat tükrözik. A tározó lehetséges hidrológiai hatásait Kovács Nóra Rebeka vizsgálta diplomamunkájában (Kovács 2015).



1. ábra. A Szamos-Kraszna Köz adatmodelljének elemei

Balra: a GIS fedvények egy része (fentről lefelé: természetes és mesterséges vízfolyáshálózat; 2000 évi elöntések műholdképei; területhasználat; domborzat, FAO talajtextúra osztályok térképei 4 mélységből). Jobbra: az idősoros peremi adatok egy része (fentről lefelé: vízhozam a Szamoson; napi csapadékösszeg és napi átlagos léghőmérséklet Kisvárdán)

Figure 1. Data model components of the Szamos-Kraszna Pilot area

Left: some GIS layers (from top to bottom: natural and artificial channel network; satellite image of excess water from year 2000; land use; terrain; FAO textural class maps for 4 depths). Right: some of the boundary condition time series (from top to bottom: discharge of River Szamos; daily summed precipitation and daily average air temperature at Kisvárdán)

BELVIZES MODELLSZÁMÍTÁSOK TANULSÁGAI

Kalibrációs kihívások és lehetőségek

A hidrológiai szimulációk kalibrációja, validációja és érzékenységvizsgálata általában véve jól definiált feladat. A finomhangolás fogalmi meghatározásairól, folyamatáról, módszertani háttéréről részletes és időszzerű bemutatás található pl. az ASABE 621 kiadványban (*ASABE 2017*) és annak felülvizsgálatában (*Harmel és társai 2018*). A letisztult elméleti háttér ellenére a modellek tényleges beállítása nehéz és összetett kihívást jelent. A felmerülő problémák a teljesség igénye nélkül: az állítandó paraméterek száma nagy; az ellenőrzéshez nagy mennyiségű mérési adat szükséges, amik gyakran bizonytalansággal terheltek, a szabad paraméterek számához mérten kevés pontból származnak, és/vagy kevés állapotváltozóra vonatkoznak (pl. csak vízhozam, csak talajvízszint stb.). A helyzetkép integrált hidrológiai modellek esetén még kedvezőtlenebbnek tűnhet: a részfolyamatokat leíró modellek elkülönült kalibrálása ritkán lehetséges, ezért az egyes modulokhoz tartozó paraméterek beállítása összefügg (pl. a feltalaj szivárgási tényezője és a felszíni érdesség ellentétes irányú változtatása ugyanúgy hathat a lefolyásra/beszívárgásra); a viszonylag nagy számításai időigény korlátozhatja az autokalibráció lehetőségét; gyakran rosszul definiált vagy túlparametrizált a rendszer (*Somlyódy 2018*). Utóbbi következményeként a számításai eredmény több, akár egymásnak ellentmondó paraméter-kombinációval is elérhető. Emiatt pedig egy rövidebb időszakra látszólag sikeresen finomhangolt, valójában túlparametrizált modell a kalibrációs intervallumon kívül hibás eredményt adhat. A belvízöblözetekre jellemző sajátosságok további gyakorlati kihívást jelentenek a kalibráció során. Ilyenek a hurkos, műtárgyakkal befolyásolt, gyakran feliszapolódó, benőtt csatornarendszerek, az eleve heterogén talajtani viszonyok, amit a mezőgazdasági talajművelés térben is időben is nem számszerűsített módon befolyásol.

Az IHM-ek összetettsége ugyanakkor nem csak hátrány, hanem előny is. A fizikai megalapozottság miatt a környezeti viszonyok egyre részletesebb megismerése elvben csökkenti a kalibrálandó paraméterek számát és jobb térbeli felbontást eredményez. Mivel a számítások nem csak egy-egy leírt jellemzőre (pl. vízgyűjtőről kilépő vízhozam idősorra) korlátozódnak, a kalibrációba bevont állapotváltozók száma is növelhető. Ez különösen érvényes a síkvidéki vízgyűjtők, a vizes élőhelyek és a belvizes területek sajátosságai miatt: a hidrológiai viselkedést a pontosan mért vízhozam idősorok mellett további időfüggő változókkal lehet jellemezni. A belvíz esetén ilyenek lehetnek a hazai vízügyi gyakorlatban elterjedt mérési adatok: a vízzel borított terület nagysága, a csatornabeli vízállások és vízhozamok, szivattyús átemelés, talajvízszintek, párolgásmérő kádak alapján a nyíltvíz evaporációja, pontbeli talajnedvesség mérések, illetve ürfelvételekre alapuló párolgási, talajnedvesség és elöntés térképek. A dolgozat „Kedvező technikai háttér” alfejezetére visszautalva az ott felsorolt egyes szakterületek fejlődése összekapcsolható a modellépítés egyes elemeivel, lépéseivel:

- Automata hidrometeorológiai monitoring – kezdeti hidrometeorológiai és vízrajzi peremfeltételek (csapadék, hőmérséklet, relatív páratartalom,

szélsébség, globálsugárzás, vízhozam, felszíni és felszín alatti vízállások); a kalibráció-validációhoz használt ellenőrző adatok,

- Távérzékelés és térinformatikai adatbázisok – domborzati, vegetációs és talajtani alapadatok, paraméterek (felszínborítás, levélfelület, talajtípus); a kalibráció-validációhoz használt ellenőrző adatok (párolgási és elöntési térkép-sorozatok).

Vagyis az észlelések növekvő száma és megbízhatósága jelentősen javítja a síkvidéki hidrológiában használt osztott paraméteres modellek kalibrálhatóságát. Ezt igazolják a pozitív nemzetközi tapasztalatok, amelyek közül érdemes kiemelni egy mértékadó példát, a floridai Tampa Bay térség vizsgálatát az InHM algoritlussal (*Geurink és Basso 2013*). A 10.000 km²-t meghaladó vizsgált terület vízjárás szempontjából több hasonlóságot mutat a hazai belvizes térségekhez: a talajvíz átlagos mélysége a terület felén kevesebb, mint két méter, a felszín 4%-át állóvíz, míg 21%-át wetland borítja, a sűrű vízfolyáshálózat egy része rendszeresen szárazra kerül. A felszínen hidrológiai választékosan szárazra kerül. A felszínen hidrológiai választékosan szárazra kerül. A felszín alatt pedig cellákkal (MODFLOW) dolgozó InHM modellt egy 18 éves időszak alapján sikeresen kalibrálták-validálták, amihez 38 vízhozam mérce és 429 darab talajvízfigyelő kút idősoros adatait használták fel.

Az adatellátottság és a technikai háttér fejlődéséhez sorolható két hazai fejlemény is:

- (1) A közelmúltban publikált DOSoReMi (*Pásztor és társai 2018, URL1*) adatbázis térbeli becslésen alapuló információkat szolgáltat a talajok elsődleges talajtulajdonságairól (szemcsefrakciói, textúra összetétel, genetikai típus, szervesanyag-tartalom stb.). Az adatbázis országos lefedettségű, 100 m felbontású, vertikálisan rétegzett (0-30, 30-60 és 60-90 cm), a talajtani jellemzők mellett a becslés térben változó megbízhatósága is ismert. Ez lényegi előrelépést biztosít a korábban elérhető térképekhez képest (pl. Agrotopo adatbázis, *URL2*), ami várhatóan érdemben hozzájárul a talajtani adatokra kifejezetten érzékeny belvíz szimulációk javulásához is. Az adatbázis hidrológiai szempontú megbízhatósága a Balaton vízgyűjtőjén jelenleg zajlik, az eddigi eredmények biztatóak (*Kozma és társai 2019*).
- (2) A lefolyás mértéke mellett hagyományosan az elöntött területek nagysága, tér- és időbeli változása tekinthető a belvíz fő hidrológiai jellemzőjének. Az egyre könnyebben és jobb minőségben hozzáférhető ürfelvételek (*Bíró 2016*) feldolgozásával elkészített belvíz (előntés és átmedvesedett talaj) térkép sorozatok alapvető támpontot jelentenek a szimulációk ellenőrzéséhez. Egyrészt az elöntés foltok öblözetre vonatkozó összegzett értéke az elöntött terület nagyságának a korábbiaknál lényegesen jobb becslését adja. Másrészt szélső megközelítésben az adott időpontokra vonatkozó elöntés térképek akár felfoghatóak minden egyes pixelre vonatkozó mérési időszorként is. Így a modelledmények megítélése szempontjából elsődleges jelentősége van, hogy az elemzést készítő

hasznosítsa ezt az egyre inkább hozzáférhető információt. Végül fontos fejleményt jelent a veszélyeztetettség kapcsolatban a Földmérési, Távérzékelési és Földhivatali Főosztály (volt FÖMI) munkatársai által szerkesztett, interneten is elérhető térkép (*URL3*). Ez a 1998-2016 közti időszak úrfelvételeiből levezetett relatív belvízgyakoriságot adja meg országos lefedettséggel, 10 m-es felbontásban. A veszélyeztetettség térkép egyetlen hidrológiai szempontú hátrányát az jelenti, hogy csak a agrártámogatásra jogosult területekre ad információt.

Célhoz igazodó modellépítés

Alapvetés, hogy a modellépítés teljes folyamatát a felhasználás céljához kell igazítani. Ez a belvív vizsgálatok is érvényes, amit a hazai IHM alkalmazási példák is alátámasztanak. Az elemzések célja lehet egy-egy részfolyamat – pl. csak az elöntés, csak a lefolyás, csak a talajvíz változásának – leírása vagy az összetett jelenség átfogó elemzése is.

A Szegedi Tudományegyetem (SzTE) kutatói egy 290 km²-es dél-alföldi vízgyűjtő példáján érzékenységvizsgálattal elemezték a kapcsolt MIKE SHE/MIKE 11 modell alkalmazhatóságát lefolyás-becslésre (*Právetz és társai 2015*). A Fehértó-Majsai főcsatorna tíz éves mért és számított lefolyó vízhozamainak összevetése alapján a modelledményeket havi ($R^2 = 0.50$) és éves ($R^2 = 0.94$) összegzésben vízgazdálkodási szempontból elfogadhatónak ítélték. Ugyanakkor ennél részletesebb időbeli léptéken már jelentős hibáról számolnak be. Ez különösen a 2006-os és 2010-es belvizes években jelentkezett, amit részben azzal magyaráztak, hogy adathiány miatt a belvív elvezetés hatását nem lehetett beépíteni a modellbe. Mivel nem volt célja az elemzésnek, az elöntött területek vagy a felszín alatti viszonyok becslésére a szerzők nem tértek ki.

Egy következő tanulmányban a SzTE és a Pécsi Egyetem munkatársai kifejezetten azt vizsgálták, hogy az úrfelvételekkel meghatározott elöntések tér- és időbeli változásai mennyire adhatók vissza MIKE SHE modellel (*van Leeuwen és társai 2016*). Ehhez egy 39 km²-es dél-alföldi területen egy 1 hónapos belvízhullám lefutását elemezték 25 méteres felbontású műholdképek és modellbeli cellaméret mellett. Az elöntés térképek kiértékelését térinformatikai pontosságvizsgálattal végezték (*Congalton 1991*) A modellel 75% fölötti teljes pontosságot/egyeztést sikerült elérniük. A tanulmány megállapítja, hogy a modellszámítások érzékenyek a talajtulajdonságokra, emellett a csatornahálózat hatása is számottevő. Ugyanakkor adatok hiányában sem talajvízre, sem a csatornák vízhozamára nem végeztek ellenőrzést.

A Kiskunsági Nemzeti Park megbízásából a VITUKI Hungary Kft. Kunpeszér térségében szintén a MIKE SHE-vel vizsgálta azt, hogy a helyi belvízelvezető csatornák vízvisszatartás miatti elzárása hogyan hat a térség talajvíz viszonyaira és az elöntések kialakulására (*VITUKI 2017*). A 13 km²-es vízgyűjtőn egyaránt találhatóak védett természeti értékek és művelt földek is. A területre felépített 25 méter felbontású modellt egy talajvíz monitoring kút mért idősorára kalibrálták-validálták (4-4 hónapra). Ezek után

több vízrendezési és meteorológiai helyzetre (eltérő meghaladási valószínűségű éves csapadékösszegekkel jellemzett évekre) elvégzett egy év időtartamú szimulációk alapján határozták meg az összesen 6,5 km-nyi lecsapoló csatornahálózat hatásterületét. A közölt eredmények idősorosan, térképek, különbségtérképek formájában szemléltetik a hidrológiai viszonyok tér- és időbeli változását, valamint a forgatókönyvek közti eltéréseket.

A mintegy 500 km²-es Szamos-Kraszna Közi belvízvédelmi rendszerre elvégzett saját elemzéseinknek alapvetően két fő célja volt: (1) a mintaterület veszélyeztetettségi és kockázattérképeinek elkészítése, és (2) területhasználati-vízkezelési-éghajlati forgatókönyvek hidrológiai és kockázatalapú elemzése. A kettős célkitűzés feltételezte, hogy a WR-IHM-lel elvégzett szimulációk a belvív hidrológiájának összes fontos elemét kielégítő pontossággal és több évtizedes időléptéken képesek legyenek leírni. Ezért a mintaterületre kidolgozott modellt kalibrációját öt mérési adatsort segítségével végeztük el. Ezek:

- (i) a Szamos és a Kraszna mért vízállásai (R^2 : 1999-2000 évekre 0,98, ill. 0,96),
- (ii) a szivattyúzott vízmennyiség (R^2 : 1999, 2000 és 2010 belvizes évekre összegezve 0,72),
- (iii) a mintaterületen található 5 talajvízkút észlelései (R^2 : 1993-2000 évekre 0,7 és 0,92 között),
- (iv) a Vámosorosziiban található párolgásmérő kád 2000-re vonatkozó mért evaporációja (R^2 : 0,82),
- (v) a műholdfelvételek alapján becsült vízborítás összegzett területe és térbeli eloszlása.

Ezek közül a dolgozatban részletesen csak az utolsó pontra térek ki. A többi mérési részfolyamat esetén a több évet lefedő kalibráció szintén kielégítőnek tekinthető – zárójelben az egyes adatsortokra vonatkozó mért és számított idősorok közti meghatározottsági együttható (R^2) értékek vannak feltüntetve. Ezek az eredmények alátámasztják a integrált modell alkalmazását veszélytérképezésre, alternatíva elemzésre (*Kozma és társai 2013*).

Elöntés és veszélytérképek értékelése

A 2. ábra és 3. ábra egy 1999-es és egy 2000-es belvies időszak távérzékelte (*FÖMI 2010*) és szimulált elöntéseit mutatja be. A számított eredmények alapvetően jól visszaadják a mért térképek mintázatát, térbeli sajátosságait (foltok mérete, területi elhelyezkedése stb.), de alaposabb összevetéssel számos helyen eltérés adódik. Ugyanakkor pontos, cellaalapú egybeesés az észlelés és a modell között nem is volt várható, hiszen a mért adatokat és a számítás pontosságát is több bizonytalanság terheli.

A mért és számított térbeli eloszlások számszerű összehasonlítására több térinformatikai megoldás is adódik. A legkézenfekvőbb, egyben „legszigorúbb” a cellánkénti összevetés (a cellaméretet az észlelés felbontása szabja meg, jelen esetben 20 m). Cellaszintű értékelés során a mért és számított vízborítások szempontjából összesen négy eset lehetséges: kétfajta egyezés (mindkét módszer szerint van/nincs elöntés) és kétfajta eltérés (egyik módszer szerint van elöntés, másik módszer szerint nincs). A kétfajta egyezés összegzett részaránya megfelel a fentebb

hivatkozott teljes pontosságnak. A 2. és 3. ábrán bemutatott időpontokra az egyezések és az eltérések arányait az 1. táblázat tartalmazza.

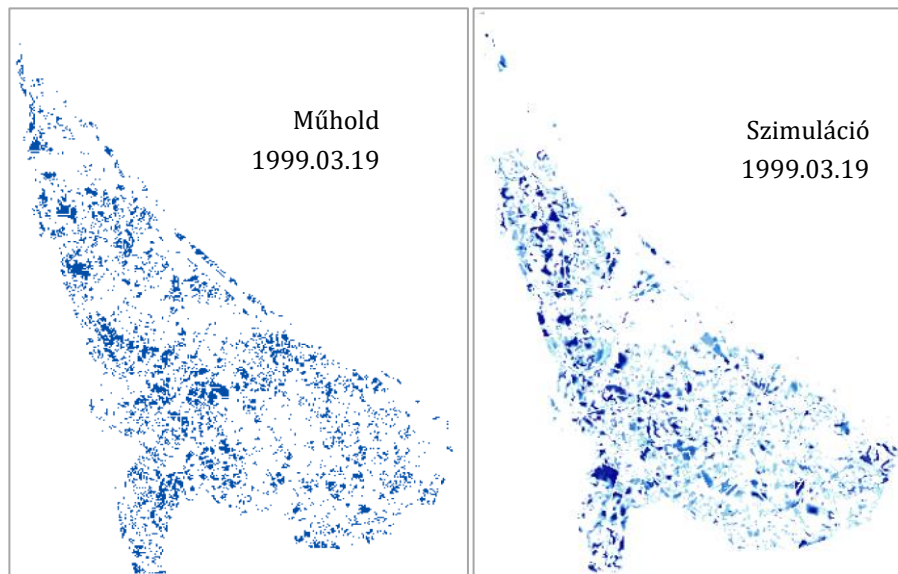
1. táblázat. Mért és számított előntés térképek cellaalapú összevetése

Table 1. Cell based comparison of observed and simulated water coverage maps

Cellaalapú	1999.03.19	2000.04.18
Egyezés	74,2%	90,4%
Eltérés	25,8%	9,6%

A távérzékelt és szimulált előntések között gyakran csak egy-két cellányi eltérés tapasztalható, ami általában a domborzatmodell pontatlanságaival magyarázható. Ezek figyelembevételére egy megengedőbb megoldást

jelent, ha a térképeket nagyobb egységenként, pl. a számítási cellák 10·10-es (1 km²-es) blokkjaiként hasonlítjuk össze. Ekkor egy-egy blokkot az ott található előntéses cellák számával jellemzünk a mért és a számított esetben is. Ez felfogható a felbontás lerontásának is, ahol egy blokk értéke azt mondja meg, hogy adott terület hány százaléka van víz alatt. Ezek után a blokkonkénti összevetés ismét elvégezhető. Az adódó különbségtérképek cellaértékei a blokkon belüli *eltérések* számát adják meg. Ezért szintén a {0; 100} tartományban mozognak, ahol 0 (fehér szín) a mért és számított adatok tökéletes egyezésére, 100 (fekete szín) pedig azok teljes eltérésére utal. A 4. ábra két térképén a legnagyobb eltérés 61, a blokkonkénti eltérések tapasztalati eloszlásának átlagértéke 0,61 és szórása 13,15.

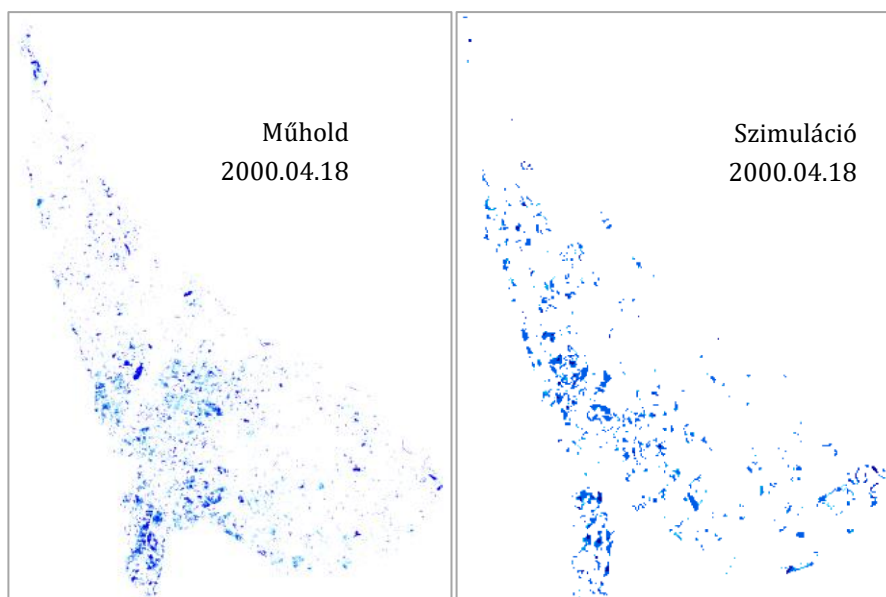


2. ábra. Kalibráció a Szamos-Kraszna Közben

Mért (műhold, 20 m-es felbontás) és számított (100 m-es felbontás) vízborítás térképek összehasonlítása (1999.03.19)

Figure 2. Calibration in the Szamos-Kraszna pilot area

Comparison of observed (satellite, 20 m resolution) and simulated (100 m resolution) water coverage maps (date: 03/19/1999)

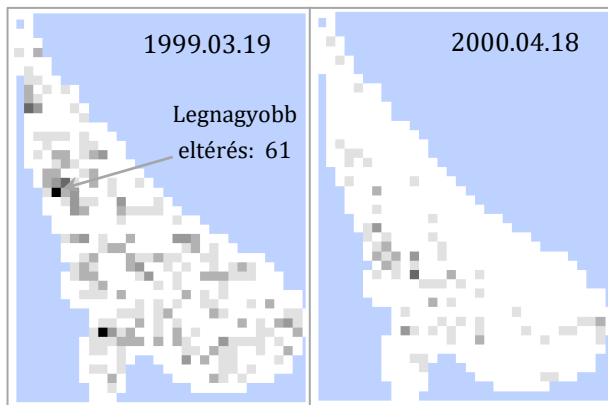


3. ábra – Kalibráció a Szamos-Kraszna Közben

Mért (műhold, 20 m-es felbontás) és számított (100 m-es felbontás) vízborítás térképek összehasonlítása (2000.04.18.)

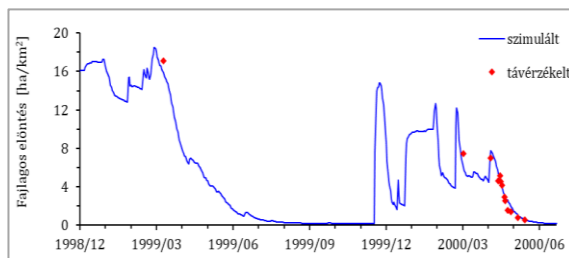
Figure 3. Calibration in the Szamos-Kraszna pilot area

Comparison of observed (satellite, 20 m resolution) and simulated (100 m resolution) water coverage maps (date: 04/18/2000)



4. ábra. A műholddal észlelt és számított előntések 1 km²-re összegzett eltérései
(bal: 1999.03.19, jobb: 2000.04.18; a sötétebb szín nagyobb eltérést jelöl)
Figure 4. Block based comparison of observed and simulated water coverage maps
(left: 03/19/1999, right: 04/18/2000; darker colors indicate larger difference)

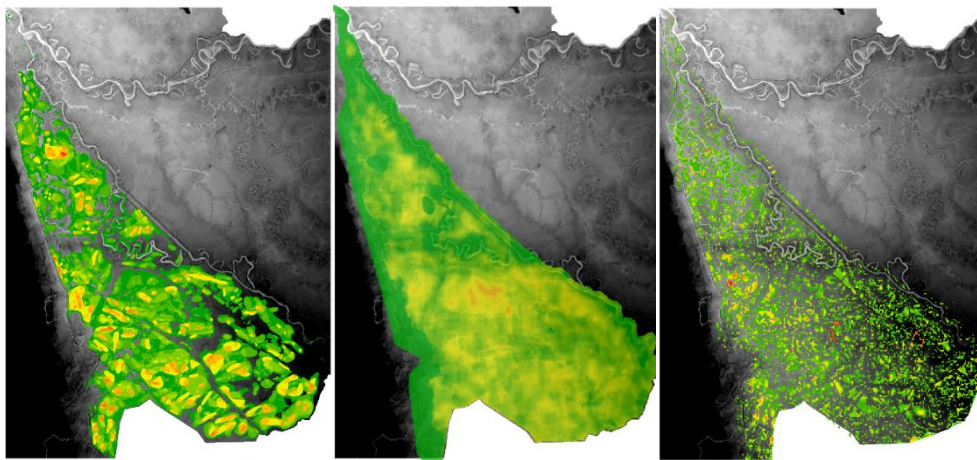
Megjegyzendő, hogy a blokkonkénti cellaszámot növelve szélső esetben eljutunk a teljes területre aggregált vízborításhoz, aminek mért és számított értékeit az 5. ábra mutatja be.



5. ábra. Kalibráció a Szamos-Kraszna Közben: a 1999-2000-es belvizek mért és számított fajlagos előntései
Figure 5. Calibration in the Szamos-Kraszna pilot: observed and simulated water coverages of the 1999-2000 period

A bemutatott példa alapján a vizsgálat felbontásának csökkentésével a számítás megbízhatósága jelentősen javul (a teljes területre nézve az egyezés közel 100%-os).

A térképek mennyiségi összevetésével kimutatott eltérés alapján az eredmény jósága megkérdőjelezhető. Itt



6. ábra. Veszélyeztetettségi térképek összevetése

A színezés a bekövetkezés valószínűségére utal: zöld – ritka; sárga átmenet – közepes; piros – gyakori. Balról jobbra: Tapasztalati belvízgyakoriság terepi szemrevételezés alapján (adatgazda: FETIVIZIG, a feldolgozást a NAIK ÖVKI-MTA ATK TAKI végezte); Regressziós krigeeléssel készített szintézistérkép: Komplex Belvívveszélyeztetettségi Valószínűség (NAIK ÖVKI, MTA ATKI TAKI); Integrált hidrológiai modellezéssel levezetett belvív valószínűség (BME VKKT).

Figure 6. Hazard maps comparison

Coloring refers to the probability of occurrence: green - rare; yellow transition - medium; red - common. From left to right: Experience in inland water frequency based on field inspection (data owner: FETIVIZIG, processing by NAIK ÖVKI-MTA ATK TAKI); Leveling map prepared with regression krigging: Complex Inland Excess Water Hazard Risk Probability (NAIK ÖVKI, MTA ATKI TAKI); Inland excess water probability derived from integrated hydrological modeling (BME VKKT).

azonban érdemes szem előtt tartani a belvív hidrológiai szimulációját terhelő adat- és modellbizonytalanságot (lásd fentebb). Ezek függvényében a technikai fejlődés ellenére egyelőre továbbra sem reális a vízügyi gyakorlat egyéb területein (pl. 1D árhullám szimuláció) megszokotthoz hasonló pontosságot elvárni a belvív rendkívül összetett tér- és időbeli változásainak szimulációjától.

Célhoz igazodó módszerválasztás

A belvízkutatásban elterjedt módszerek egyik fő célja a belvíznek való kitétség, a belvívveszélyeztetettség térképes jellemzése. A veszélyeztetettség megadja, hogy a belvív statikus és dinamikus ható tényezőinek együttes hatása miatt hosszabb idő átlagában adott területet potenciálisan milyen mértékben sújthat szélsőség. A kutatási eredmények közül talán ennek a térképes ábrázolása biztosítja a gyakorlat számára a legtöbb és legértékesebb információt. Emellett a különböző eljárásokkal levezetett gyakorisági/valószínűségi térképek összevetése kiváló lehetőséget is biztosít a hidrológiai modellszámítások valószínűség tartalmának ellenőrzésére. Ekkor ugyanis kevésbé meghatározóak a mért és szimulált előntések egy-egy adott időpontban észlelt eltérései, amiknek a számítás hibája mellett számos egyéb oka lehet (pl. felhőborítás, feldolgozási hibák stb.).

A 6. ábra a Szamos-Kraszna Közre három módon meghatározott veszélyeztetettségi térképet hasonlít össze. Az első térkép 10 db belvizes időszak maximális előntés kontúrjainak összesítésével keletkezett, így az a tapasztalati belvízgyakoriságot mutatja. Az előntéseket a FETIVIZIG munkatársai terepi szemrevételezéssel regisztrálták 1962 és 2010 között. Az adatok GIS feldolgozását a NAIK ÖVKI-MTA ATK TAKI munkatársai végezték el, és azt fel is használták a középső képen látható komplex belvívveszélyeztetettségi valószínűség levezetése során (Körösparti és Bozán 2012, Pásztor és társai 2015). A harmadik térkép a WR IHM-mel készült a 1981-2010 közti 30 éves időszak napos lépésű szimulációs eredményei alapján, a felszíni vízborítás napok éves átlagos értékét mutatja. A három térkép az azóta megépült VTT tározó előtti állapotokra vonatkozik. A színezés mindhárom esetben a bekövetkezés valószínűségére utal: zöld – ritka; sárga átmenet – közepes; piros – gyakori.

A veszélyeztetettség térbeli megoszlása alapvetően mindegyik eljárás esetén hasonlóképpen alakul: a leginkább érintett területek északon, az árvízi véstározó és a Kraszna jobb partján, az egykori Ecsedi láp térségében találhatóak. Helyi jelleggel viszont több eltérés is felfedezhető. Ezek egyrészt a becsült veszélyeztetettségben mutatkoznak meg (pl. az Északi főcsatorna mentén, illetve a belvízrendszer középső részén, a Szamos holtágtól délre, a Keleti övcsatorna mentén). Másrészt a legszembetűnőbb különbségeket a térbeli folytonosság, a mintázat felbontása és részletgazdagsága jelentik, amik a módszerek közti eltérésekkel magyarázhatóak.

A tapasztalati adatokból (terepi szemrevételezés, és elsősorban a légi- és űrfelvételek) készített gyakoriságtérképek előnye, hogy kellően körültekintő hibaszűrés esetén a valósághoz vélhetően ezek állnak a legközelebb. Részletgazdagságuk és a készítésükhöz felhasznált észlelések száma, így végeredményben a megbízhatóságuk az idő előre haladtával és a technológia fejlődésével folyamatosan javul. Hátrányt jelent, mint általában a tapasztalati adatok esetén, hogy csak a múltból biztosítanak ismereteket. A múltbeli tudás pedig a folyamatosan változó klimatikus-területhasználati-vízkezelési viszonyok mellett csak korlátozottan érvényes a jelenre és még inkább korlátozottan a jövőre nézve (Dingman 2015). Emellett a módszer nem ad információt sem a hidrológiai vonatkozásokról (lefolvás, felszín alatti vízkészlet alakulása stb.), sem a kiváltó környezeti okok és az hatás (belvív) közti kapcsolatról.

Ezzel szemben a szintézistérképek egyik legkedvezőbb tulajdonsága éppen az, hogy a hatótényezők (meteorológia, domborzat, területhasználat, talajvíz, talajtan, sekélyföldtan) és a tapasztalati előtér gyakoriság regressziós krigeálásával határozza meg a belvízveszélyeztetettség térben folytonos változását. Előny még a módszer robusztus mivolta, és így országos léptékű kiterjeszhetősége; a meteorológiai és területhasználati adatok változtatásával a jövőre vonatkozó forgatókönyvek vizsgálatának lehetősége, illetve a nagyszámú környezeti segédváltozó bevonásával a folyamatos fejleszthetőség (Bozán és társai 2018). Hátrányként említhető, hogy az időben változó hidrológiai viszonyokról ez a módszer sem nyújt információt, így pl. a csatornarendszer hatása is csak közvetett módon, segédváltozóként jut érvényre.

Az integrált hidrológiai modellezés legfontosabb erőssége az explicit hidrológiai-hidrodinamikai megalapozottság, ami lehetővé teszi a belvízvédelmi rendszerek működtetésének, fizikai állapotának realisztikus figyelembevételét. Így kombináltan vizsgálhatóak a különböző vízkormányzási, területhasználati és éghajlati forgatókönyvek. A módszer segítségével a veszélyeztetettség- és kockázattérképek a jelenlegi/közelmúltban tapasztaltaktól lényegesen eltérő állapotok mellett is becsülhetőek. Hátrány a modellépítés nagy (akár nem is teljesíthető) adat-, idő- és munkaigénye, a szakszerűen elvégzett kalibráció és validáció szükségessége.

A fenti összevetésből kitűnik, hogy a térképezési módszerek közül nem választható ki „legjobb”. Ehelyett a konkrét vizsgálat célja, léptéke és lehetőségei szabják meg azt, hogy melyik eljárásra érdemes támaszkodni. Érdemes

kiemelni, hogy a bemutatott módszerek ideális esetben nem egymás konkurenseként, hanem kiegészítőként szolgálnak. Ugyanis a párhuzamos használatával nem csak a megbízhatóság ellenőrizhető, hanem megfelelő összehangolással az egyes eljárások hátrányai kölcsönösen kiküszöbölhetőek, míg az előnyök erősíthetők.

ÚJ TÁVLATOK: ÖKOSZISZTÉMA SZOLGÁLTATÁSOK

A dolgozat bevezetőjében említett „sok víz-kevés víz” elentmondás háttérében egy összetett erőforrás és terület-használati konfliktus áll, aminek gyökere az, hogy a síkvidék területeket elérhető természeti tőkével a társadalom milyen módon gazdálkodik (Czúcz és társai 2008). A múltban kialakult vízrendezési-területhasználati gyakorlat mára felismert, hosszútávú negatív hatásainak kezelését nagyban segítheti a különféle ökoszisztéma szolgáltatások (ÖSz) számszerűsítése, térképezése és figyelembevétele a döntéshozatal során. Az ÖSz koncepció lényege, hogy valamely természetes vagy művelt élőhelyet (pl. egy belvizes szántóterületet) nem kizárólag egy szempont (pl. gabona- vagy fahozam) alapján ítéljük meg, hanem minél több – természettudományosan és közgazdaságilag eltérően számszerűsíthető – ökológiai funkció együttes figyelembevételével (Burkhard és Maes 2017). Az ökológiai rendszer működéséből származó haszonvételek szerteágazóak: támogató (pl. talajképződés), ellátó (pl. élelmiszertermelés), szabályozó (pl. szénmegkötés, diffúz tápanyagszennyezés visszatartása, hidrológiai folyamatok és szélsőségek csillapítása) és kulturális szolgáltatások (Maes és társai 2018, Haines-Young és Potschin 2018).

A belvízzel érintett területekre jellemző, hogy a történeti folyamatok eredményeként a mezőgazdasági termelés (ellátó szolgáltatás) dominanciája a többi ÖSz rovására ment (Derts és Koncsos 2012, Ungvári és társai 2012, Pinke 2018). A szabályozó szolgáltatások gyengülésével az Alföld meghatározó termelési rendszere és ökológiai állapota különösen kitétté váltak az éghajlati és hidrológiai szélsőségeknek (Pinke 2012, Fiala és társai 2018). Több ÖSz szemléletet alkalmazó tanulmány is rámutatott, hogy alternatív tájhasználati rendszerek a jelenleginél kedvezőbb társadalmi hasznosságot biztosítanak (Jolánkai és társai 2012, Pinke és társai 2018). Ennek egyik példája a kutatócsoportunk által a Szamos-Kraszna Közben elvégzett elemzés: a területen az ÖSz-k széleskörű becslése a fentebb már ismertetett hidrológiai számítások alapján történt a közelmúlt viszonyai, illetve egy attól gyökeresen eltérő vízrendezési-területhasználati forgatókönyv mentén (Muzelák és Balogh 2011). A jelenleg intenzív belvízmentesítés és szántóföldi művelés domináns állapot alternatíváját a víz megtartását jobban szolgáló, extenzív tájhasználat jelentette. Utóbbiban a szántók egyharmada helyén erdő vagy legelő található és az azóta megvalósult VTT tározó térségében egy nagyobb kiterjedésű, a Szamoson érkező árhullámok csökkentésére is alkalmas wetlandet tételez fel. A két változat kidolgozása hidrológiai modellszámításokkal, mezőgazdasági hozambecsléssel, továbbá a szabályozó ÖSz-ek (CO₂ megkötés, árvízi kockázatsökkentés, vizes élőhely társadalmi haszna stb.) irodalmi adatokra alapozott értékelésével történt. Az összevetés alapján az alternatív, adaptációra alapuló tájhasználat összegzett

pénzbeli szolgáltatása több mint kétszerese a közelmúltat jellemző forgatókönyvnek, ami egyértelműen a szabályozó szolgáltatások és a víz megtartás jelentőségére utal. Ez összhangban áll a nemzetközi tapasztalatokkal is: a tartós vízborítással, magas telítettséggel érintett vízenyős területek, természetes és mesterséges vizes élőhelyek kapcsán – azok ökológiai és társadalmi jelentőségét felismerve – a szakirodalom és a szabályozói gyakorlat is a helyreállításra, állapotmegővésre helyezi a hangsúlyt (EU VKI, *Boswell és társai 2007, Mitsch 2016*).

Az ellátó és szabályozó ŐSz-ek közti optimális arány kialakításának fontos része kell legyen az is, hogy a jó agráralkalmasságú területeken a termelés minél inkább zavartalan legyen. Ez belvizes területen feltételezi az időszaki víztöbblet kedvezőtlen hatásainak mérséklését. Vízkészletgazdálkodási, ökológiai, környezetvédelmi és társadalmi szempontból (pl.: *Farkas és társai 2009, Somlyódy 2011, OVG 2016*) azok az agrotechnológiai megoldások (tereprendezés, vápák kialakítása, rendszeres mélylazítás, direktvetés, no-till, talajtakarás, másodvetés stb.) a támogatandók, amelyek a táblán belül megjelenő víztöbbletet helyben tartják: akár a talaj mélyebb rétegeibe történő szivárgás elősegítésével, akár a felszíni és felszín közeli lefolyás lassításával. Így belvízképződési szempontból megakadályozzák a „ledugaszolt palack” hatást, illetve az összegyülekezéses belvizek kialakulásának esélyét csökkentik. Az ilyen beavatkozások tervezését nagyban segítheti a precíziós mezőgazdaság és a táblán belüli léptékre irányuló, nagy felbontású hidrológiai modellszámítások összekapcsolása. A belvizet a tábláról kivezető agrotechnikai és műszaki megoldások esetén törekedni kell arra, hogy az elvezetett víz az öblözetben belül maradjon, és ott időszakos tározásra alkalmas mélyfekvésű területre (*Körösparti és Bozán 2013*) jusson.

Amennyiben a terület víztelenítése nem oldható meg a fenti módokon gazdaságilag racionálisan, akkor célravezető a művelési mód- vagy területhasználatváltás. Ennek gyakorlati megvalósulását elemezte a Regionális Energia-kutató Központ és kutatócsoportunk egy közös projektje (*Ungvári és társai 2018*). A Makó környéki gazdálkodók bevonására, belvízmodellre és közigazgatási eszközökre épülő kutatás kimutatta, hogy az ökológiai fókuszterületek (mint a víztöbbletet időszakosan tározni képes, szabályozó szolgáltatásokat biztosító élőhelyek) kijelölését gazdaságilag és hidrológiai szempontból is célszerű lenne összehangoltan elvégezni. A hidrológiai számításokkal kombinált költség-haszon elemzés eredményei szerint az átállás miatt kieső termőterület és profit mértéke jelentősen csökkenthető lenne, ha az 5%-nyi fókuszterület kijelölése nem egyedileg (minden gazdálkodó saját területén külön-külön) történne, hanem közös megállapodással, az elemzésbe bevont teljes terület (120 km²) leginkább belvizes részein. A vizsgálat további fontos tanulsága, hogy a helyi üzemi csatornák működtetése közigazgatásilag veszteséges, a fenntartásuk költsége meghaladja az általuk biztosított mezőgazdasági többlet hasznot.

Az ökoszisztéma szolgáltatások hazai térképezése az Agrárminisztérium vezetésével, több akadémiai kutatóhely és számos intézeti, egyetemi, nemzeti parki szakértő

bevonásával jelenleg zajlik (NÖSZTÉP projekt, *URLA, Kovács-Hostyánszki és társai 2018*). A természetes és művelt élőhelyek ökológiai állapotának és ŐSz-ainak értékelése és az egész országra kiterjedő, 20 m felbontású térképezése során a szabályozó szolgáltatások között több hidrológiai jelenség, és így a belvív-aszály kérdéskör is komoly hangsúllyal jelenik meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Ács, T., Kozma, Zs. (2017). Ökológiai talajvízigény cél és lépték szerint. In: *Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században: a VII. Magyar Tájökológiai Konferencia tanulmányai*, Blanka, V; Ladányi, Zs (szerk.) Szeged, pp. 127-135.

Benyhe, B., Právetz, T., Sipos, Gy. (2014). Hidrológiai modellező szoftverek összehasonlítása egy síkvidéki kisvízgyűjtő esetében. In: *Aszály és vízgazdálkodás a Dél-Alföldön és a Vajdaságban*, Blanka Viktória, Ladányi Zsuzsanna (szerk.). Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged. ISBN:978-963-306-341-5

Bíró, T. (2016). A hazai belvízkutatás néhány időszaki kérdése. *Hidrológiai Közlemények* 96. évf. 2. szám. pp. 5-12.

Bohlen, P. J., Boughton, E., Fauth, J. E., Quintana-Ascencio, P. F., Shukla, S., Swain, H. M. (2014). Assessing Trade-Offs among Ecosystem Services in a Payment-for-Water Services Program on Florida Ranchlands. Final Report (G08K10487). United States Environmental Protection Agency.

Boswell, J.S., Olyphant, G.A. (2007). Modelling the hydrologic response of groundwater dominated wetlands to transient boundary conditions: Implications for wetland restoration. *Journal of Hydrology* 332, pp. 467-476, doi:10.1016/j.jhydrol.2006.08.004

Bozán, Cs., Takács, K., Körösparti, J., Laborczi, A., Túri, N., Pásztor, L. (2018). Integrated spatial assessment of inland excess water hazard on the Great Hungarian Plain. *Land Degradation & Development* 29 pp. 4373-4386.

Burkhard, B., Maes, J. (szerk.) (2017). *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers, Sofia, ISBN 978-954-642-830-1.

Congalton R.G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*. 37, 1, 35-46.

Czucz, B., Molnár, Zs., Horváth, F., Botta-Dukat, Z. (2008). The natural capital index of Hungary. *Acta Botanica Hungarica* 50 (Supplement 1):161-177, DOI: 10.1556/ABot.50.2008.Suppl.8.

Csendes, B., Mucsi, L. (2016). Inland excess water mapping using hyperspectral imagery. *Geographica Pannonica* 20:4 pp. 191-196. DOI: 10.18421/GP20.04-01.

Daniel, E.B., Camp, J.V., LeBoeuf, E.J., Penrod, J.R., Dobbins, J.P., Abkowitz, M.D. (2011). Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review. *The Open Hydrology Journal*, 2011, 5, 26-50.

De Roo APJ, Offermans RJE, Cremers NHDT (1996). LISEM: a single-event physically based hydrological and

soil erosion model for drainage basins. II: sensitivity analysis, validation and application. *Hydrol. Process* 10:1119–1126.

Decsi, B., Ács, T., Kozma, Zs. (2017). A kállósemjéni Nyárjas láp vízháztartási vizsgálata. In: *Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században: a VII. Magyar Tájökológiai Konferencia tanulmányai*, Blanka, V., Ladányi, Zs (szerk.) Szeged, pp. 127-135.

Derts, Zs., Koncsos, L. (2012). Ecosystem Services and Land Use Zonation in the Hungarian Tisza Deep Floodplains. *Pollack Periodica*, 7(3) pp. 79-90., <https://doi.org/10.1556/2FPollack.7.2012.3.8>

Duranel, A. (2015). *Hydrology and hydrological modelling of acidic mires in central France*, Doktori (PhD.) értekezés, University College London, London.

Farkas, Cs., Birkás, M., Várallyay, Gy. (2009). Soil tillage systems to reduce the harmful effect of extreme weather and hydrological situation. *Biologia* 64/3: 624-628, Section Botany DOI:10.2478/s11756-009-0079-6

Fatichi, S., Vivoni, E. R., Ogden, F. L., Ivanov, V. Y., Mirus, B., Gochis, D., Downer, C. W., Camporese, M., Davison, J. H., Ebel, B., Jones, N, Kim, J., Mascaram, G., Niswonger, R., Restrepo, P., Rigon, R., Shen, C., Sulis, M., Tarboton, D. (2016). An overview of current applications, challenges, and future trends in distributed process-based models in hydrology. *Journal of Hydrology* 537 (2016) 45-60.

Fiala, K., Barta, K., Benyhe, B., Fehérvári, I., Lábdy, J., Sipos, Gy., Györfly, L. (2018). Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer. *Hidrologiai Közlemények*, 98. évf. 3. szám, pp. 14-25.

Földmérési, Távérzékelési és Földhivatali Főosztály, FÖMI (2010). *Belvíz elöntés térképek leírása – Az Árvízi Kockázati metodikai Projektben a belvízi elöntési veszélytérképek metodikájának kidolgozásához*. Kézirat.

Geurink, J.S., Basso, R. (2013). Development, calibration, and evaluation of the Integrated Northern Tampa Bay Hydrologic Model. *Prepared for Tampa Bay Water, Clearwater, FL and the Southwest Florida Water Management District*, Brooksville, FL. <https://tampabaywater.sharefile.com/d-s5e38f1f0e0c41ac9>

Graham, D.N. and Butts, M.B. (2006). Flexible, integrated watershed modelling with MIKE. In: *Watershed Models*, V.P. Singh, D.K. Frevert (Eds.), CRC Press, Boca Raton, pp. 245-272.

Harmel, R. D., Baffaut, C., Douglas-Mankin, K. (2018). Review and development of ASABE Engineering Practice 621: “Guidelines for calibrating, validating, and evaluating hydrologic and water quality models”. *Transactions of the ASABE*. 61(4): 1393-1401. doi: 10.13031/trans.12806.

Haines-Young, R., Potschin, M. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. <https://cices.eu/>

Jolánkai, Zs., Kardos, M., Koncsos, L., Kozma, Zs., Muzelák, B. (2012). Pilot Area Studies in Hungary with a

Novel Integrated Hydrologic Model – WateRisk. In: *International Young Water Professionals Conference*, July 10–13. 2012, Budapest.

Kardos, M. K., Koncsos, L. (2018). Klímaváltozás és vízpótlás hatásainak vizsgálata a WateRisk integrált hidrológiai modellel egy Duna-Tisza közti mintaterületen. *Hidrologiai Közlemények*, 98. évf. 2. szám, pp. 36-47.

Kertész, Á., Nagy, L.A., Balázs, B. (2019). Effect of land use change on ecosystem services in Lake Balaton Catchment. *Land Use Policy* 80 (2019) 430-438. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.005>

Kim, N.W., Chung, I.M., Won, Y.S., Arnold, J.G. (2008). Development and application of the integrated SWAT–MODFLOW model. *Journal of Hydrology* (2008) 356, pp. 1-16.

Koncsos, L. (szerk.) (2011) *WateRisk - Jövőképtől a vízkészlet kockázatig*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, Budapest, ISBN 978-963-313-060-5.

Kovács, E., Kelemen, E., Pataki, Gy. (2011). Ökoszisztéma szolgáltatások a tudományterületek és a szakpolitikai metszéspontjaiban. *Természetvédelmi közlemények* 17, pp. 1-11.

Kovács Nóra Rebeka (2015). *Az integrált árvízi-belvízi kockázatsökkentés vizsgálata a Szamos-Kraszna Köz területén hidrológiai modellezéssel*. MSc. diploma, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.

Kovács-Hostyánszki, A., Bereczki, K., Czucz, B., Érdiné Szekeres, R., Fodor, L., Kalóczkai, Á., Kiss, M., Kovács, E., Takács, A. A., Tanács, E., Török, K., Vári, Á., Zölei, A., Zsembery, Z. (2018). The Hungarian ecosystem services assessment – an example for a national level science-policy interface. *5th European Congress of Conservation Biology*. doi: 10.17011/conference/eccb2018/107702

Kozák, P. (2009). *Belvízi kockázat térképezés végrehajtásának eddigi tapasztalatai*. MHT 27. Országos Vándorgyűlés, Baja. ISBN 978-963-8172-23-5

Kozma, Zs., Parditka, G. (2011). A WateRisk Integrált Hidrológiai Modell. In: *WateRisk - Jövőképtől a vízkészlet kockázatig*, Koncsos L. (szerk.) Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, Budapest, ISBN 978-963-313-060-5.

Kozma, Zs., Muzelák, B., Koncsos, L. (2013). A Belvízi Jelenségek Integrált Hidrológiai Modellezése: Tapasztalatok a Szamos-Kraszna közti mintaterületen. *Magyar Hidrológiai Társaság XXXI. Vándorgyűlése Konferencia Proceedings*. CD- ROM. Paper 11. ISBN: 963-8172-31-0

Kozma, Zs., Ács, T., Koncsos, L. (2014). Unsaturated zone modelling – The role of soil database classification. In: *Sustainable Irrigation and Drainage V. (WIT Transactions on Ecology and the Environment; 185.)* Brebbia, C.A., Bjornlund, H., (szerk.) pp. 197-208.

Kozma, Zs. (2014). *Belvízi Szélsőségek Kockázatalapú Értékelésének És Modellezési Módszertanának Fejlesztése*, Doktori (PhD.) értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.

- Kozma, Zs., Decsi, B., Manninger, M., Mórica, N., Makó, A., Tóth, B. (2019). Becsült talajhidrológiai paraméterek szimulációs vizsgálata a NAIK Erdészeti Tudományos Intézet két mintaterületén. *Agrokémia és Talajtan* (Elbírálás alatt).
- Körösparti, J., Bozán Cs. (2012). Szabolcs - Szatmár - Bereg megye belvíz-gazdálkodási lehetőségeinek felmérése a belvíz-veszélyeztetettség térképezés segítségével. *Magyar Hidrológiai Társaság XXX. Vándorgyűlése. Konferencia Proceedings*. CD-ROM. 20p. ISBN 978-963-8172-29-7
- Körösparti, J., Bozán, Cs. (2013). Belvizes területek alternatív hasznosítási lehetőségeinek értékelése, és a belvíz tározására alkalmas területek lehatárolása Békés megyében. *Magyar Hidrológiai Társaság XXXI. Vándorgyűlése Konferencia Proceedings*. CD-ROM. 18p. ISBN 978-963-8172-31-0
- van Leeuwen, B., Právetz, T., Liptay, Z. Á., Tobak, Z. (2016). Physically based hydrological modelling of inland excess water. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 11(2), pp. 497-510.
- Liu, H.L., Chen, X., Bao, A.M., Wang, L. (2007). Investigation of groundwater response to overland flow and topography using a coupled MIKE SHE/MIKE 11 modelling system for an arid watershed. *Journal of Hydrology* 347 (2007), pp. 448-459.
- Ma, L., He, Ch., Bian, H., Sheng, L. (2016). MIKE SHE modelling of ecohydrological processes: Merits, applications, and challenges, *Ecological Engineering* 96 (2016), pp. 137-149.
- Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Grizzetti, B., Barredo, J.I., Paracchini, M.L., Condé, S., Somma, F., Orgiazzi, A., Jones, A., Zulian, A., Vallecillo, S., Petersen, J.E., Marquardt, D., Kovacevic, V., Abdul Malak, D., Marin, A.I., Czucz, B., Mauri, A., Löffler, P., Bastrup-Birk, A., Biala, K., Christiansen, T., Werner, B. (2018) *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for ecosystem condition*. Publications office of the European Union, Luxembourg. doi:10.2779/055584.
- McDonald, M.G., Harbaugh, A.W. (1988). *A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model*. US Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations. Book 6, Chapter A1, 586 pp.
- Mitsch, W.J. (2016) Restoring the Greater Florida Everglades, once and for all. *Ecological Engineering*. 93: A1–A3. doi:10.1016/j.ecoleng.2016.02.016.
- Muzelák, B., Balogh, P. (2011) Felső-Tiszai belvíz sújtotta területek, Szamos-Kraszna Köz. In: *WaterRisk - Jövőképtől a vízkészlet kockázatig*, Koncsos L. (szerk.) Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, Budapest, ISBN 978-963-313-060-5.
- Országos Vízügyi Főigazgatóság, OVF (2015). *A Duna-vízgyűjtő magyarországi része – Vízyűjtő-gazdálkodási Terv 2015*, Főszerző. Budapest.
- Pálfai, I. (2004). *Belvizek és Aszályok Magyarországon. Hidrológiai tanulmányok*. Budapest ISBN 963 552 382 3
- Pásztor, L., Körösparti, J., Bozán, Cs., Laborczi, A., Takács, K. (2015). Spatial risk assessment of hydrological extremities: Inland excess water hazard, Szabolcs-Szatmár-Bereg County, Hungary. *Journal of Maps* 11(4), pp. 636-644.
- Pásztor, L., Laborczi, A., Takács, K., Szatmári, G., Bakacsi, Zs., Szabó, J., Illés, G. (2018) DOSoReMI as the national implementation of GlobalSoilMap for the territory of Hungary, *Proceedings of the Global Soil Map 2017 Conference*, July 4-6, 2017, D. Arrouay, I. Savin, J. Leenaars, A. B. McBratney (ed.), pp. 17–22, CRC Press, Moscow, Russia.
- Pinke, Zs. (2012). Aszály-, belvízkárok és az árvízvédelmi ökoszisztéma szolgáltatás értékelésének szerepe a belvizes területek vizes élőhelyé alakításában. *Tájékológiai Lapok* 10. (2): 271–286.
- Pinke, Zs. (2018). *Hortobágy-Sárrét Tájrestaurációs Modell Szakmai Megalapozása Országos Helyzetelemzésel*. Doktori (PhD.) értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő.
- Pinke, Zs., Kiss, M., Lövei, G.L. (2018). Developing an integrated land use planning system on reclaimed wetlands of the Hungarian Plain using economic valuation of ecosystem services. *Ecosystem Services* 30 (2018) 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.007>
- Právetz, T., Sipos, Gy., Benyhe, B., Blanka, V. (2015). Modelling Runoff On A Small Lowland Catchment, Hungarian Great Plains. *Journal of Environmental Geography* 8 (1–2), 49–58. DOI: 10.1515/jengeo-2015-0006
- Rakonczai, J., Farsang, A., Mezősi, G., Gál, N. (2011). A belvízképződés elméleti háttere. *Földrajzi Közlemények* 2011. 135. 4. pp. 339–349.
- Rodriguez, L. B., Cello, P. A., Vionneta, C. A., Goodrich, D. (2008). Fully conservative coupling of HEC-RAS with MODFLOW to simulate stream-aquifer interactions in a drainage basin. *Journal of Hydrology*, 353 (1–2), pp 129-142. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.02.002>
- Shen, C.P., Phanikumar, M.S. (2010). A Process-Based, Distributed Hydrologic Model Based on a Large-Scale Method for Surface - Subsurface Coupling. *Advances in Water Resources*, 33(12), pp. 1524 - 1541, DOI: 10.1016/j.advwatres.2010.09.002.
- Simunek, J., Sejna, M. & van Genuchten, M.T. (1998). *The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably-saturated media: version 2.0* IGWMC-TPS-70. International Groundwater Modelling Center, Colorado School of Miners, Golden, 1998.
- Somlyódy, L. (szerk.) (2011) *Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok*. Magyar Tudományos Akadémia, Köztisztületi Stratégiai Programok, Budapest.
- Somlyódy, L. (2018) Vízminőségi modellek és csapdák, *Hidrológiai Közöny*, 98. évf. 3. szám, pp. 4-14.
- Spanoudaki, K., Stamou A.I., Nanou-Giannarou, A. (2009). Development and verification of a 3-D integrated

surface water–groundwater model, *Journal of Hydrology* 375, 410–427.

Szalmári, J., van Leeuwen, B. (ed.) (2013). *Inland Excess Water - Belvíz - Suvišne Unutrašnje Vode*. Szeged; Újvidék: Szegedi Tudományegyetem; Újvidéki Egyetem, 154 p. ISBN: 9789633062630

Szöllősi-Nagy, A. (2018). Sorsfordító a fejlődésben – 2. rész: Válaszút előtt a világ vízgazdálkodása. *Hidrológiai Közöny*, 98. évf. 4. szám, pp. 9-16.

The American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) Standards (2017). Guidelines for Calibrating, Validating, and Evaluating Hydrologic and Water Quality (H/WQ) Models; ASABE 621; ASABE: St. Joseph, MI, USA, 2017.

Thompson, J.R., Sørensen, H.R., Gavina, H., Refsgaard, A. (2004). Application of the coupled MIKE SHE/MIKE 11 modelling system to a lowland wet grassland in southeast England. *Journal of Hydrology* 293 (2004) 151–179.

Twarakavi, N. K. C., Simunek, J., Seo, H. S. (2008). Evaluating interactions between groundwater and vadose zone using HYDRUS-based flow package for MODFLOW, *Vadose Zone Journal, Special Issue "Vadose Zone Modeling"*, 7(2), 757-768. doi:10.2136/VZJ2007.0082

Ungvári, G., Ellison, D., Molnár, Zs., Varga, Gy. (2012). Ökoszisztéma-szolgáltatások nagyságrendi becslése vízgyűjtő szinten a vízkörforgást leíró vízháztartási jellemzők alapján. *Kézirat, Regionális Energiakutató Központ, Budapesti Corvinus Egyetem*.

Ungvári, G., Jolánkai, Zs., Kis, A., Kozma, Zs. (2018). The feasibility of cooperation to comply with land use change obligations in the Marosköz area of South Hun-

gary. *Journal of Environmental Geography* 11 (3–4), 35–45. DOI: 10.2478/jengeo-2018-0010.

US Army Corps of Engineers, US ACE (2000) HEC-HMS Technical Reference Manual. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center.

VanderKwaak, J. E., Loague K. (2001). Hydrologic-response simulations for the R-5 catchment with a comprehensive physics-based model. *Water Resources Research* 37: 999–1013.

VITUKI Hungary Kft. (2017). *Kunpeszér térségében található csatornák üzemeltetésének hatásai a környező területek talajvízszintjére*. Tanulmány, Budapest.

Whittaker, G., Confesor, R., Di Luzio, M., Arnold, J.G. (2010). Detection of overparameterization and overfitting in an automatic calibration of SWAT. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 2010, 53(5): 1487-1499, ISSN 2151-0032

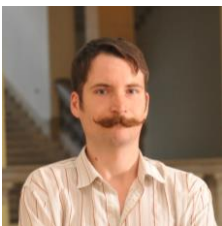
URL1: <http://dosoremi.hu/>

URL2: Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományi Kutatóközpont. Talajtani és Agrokémiai Intézet: *Agrotopo adatbázis*. <https://www.mta-taki.hu/hu/osztalyok/kornyezetiinformatikai-osztaly/agrotopo>

URL3: Földmérési, Távérzékelési és Földhivatali Főosztály, FÖMI (2017) Újabb távérzékelési adatokkal bővült a COPERNICUS böngésző <http://www.ftf.bfk.gov.hu/portal/index.php/hirek-aktualitasok/1-friss-hirek/632-ujabb-taverzekelt-adatokkal-bvult-a-copernicus-bongesz>

URL4: Nemzeti ökoszisztéma szolgáltatás-térképezés és -értékelés (KEHOP-4.3.0-15-2016-00001) <http://www.termeszetvedelem.hu/okoszisztema-szolgáltatások-fejlesztési-elem>

A SZERZŐ



KOZMA ZSOLT a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszékének adjunktusa. Doktori fokozatot a Építőmérnöki Karon szerzett, értekezésének témája a belvízkockázat matematikai modellezése. Kutatási témái: hidrológiai modellezés, a telítetlen talajok vízforgalma, ökoszisztéma szolgáltatások.

A Magyarorszáki tározó esetleges vízhasznosítási célú üzemeléséhez szükséges optimális térfogat meghatározása Moran-modellel

Fekete Árpád*, Keve Gábor*

*Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Vízudományi Kar (Fekete.Arpad@uni-nke.hu; Keve.Gabor@uni-nke.hu)

Kivonat

A cikkben a Moran-féle tározóméretezési eljárással végzünk hidrológiai számításokat Magyarországnál a Baranya-csatornára tervezett árvízcsúcs csökkentő tározóra. A DDVIZIG, mint az érintett térség vízkészlet-gazdálkodásáért felelős állami szervezet, 2013-ban elkészítette a „Tározási lehetőségek a Baranya-csatorna vízgyűjtőjén” elnevezésű műszaki tanulmánytervét. Ebben a tanulmányban szerepelt a Magyarorszáki tározó megvalósításának elképzelése is, melynek elsődleges célja a tavaszi árvízveszély csökkentése a víz visszatartásával. A másodlagos célként fogalmazódott meg a vízhasznosítás igényeinek biztosítása, mint például az aszályos időszakok alatti öntözővíz igény ellátása. Tanulmányunkban az elméletileg lehetséges legnagyobb tározóméret becslését tűztük ki célul, melyben a kiürülés valószínűsége a lehető legnagyobb vízkivétel mellett is minimális, azaz a vízszolgáltatás biztonsága maximális. Számításainkhoz a 2012–2018 évek közötti adatsort vettük figyelembe. Az adatsor rövidege (7 év) lehetővé tette, hogy elvégezzük a számításokat egy közelítőleg optimális tározóméretre. A pontosabb számításhoz hosszabb adatsor szükséges, de egy előzetes becsléshez és a módszer bemutatásához még ezen rövid adatsor is elegendő.

Kulcsszavak

Tározás, Moran-modell, Markov-lánc, átmenetvalószínűségi mátrix, stacionárius határeloszlás, kiürülés határvalószínűsége.

The Dimensioning of Magyarország Reservoir by Moran's Model in order to Calculate the Optimal Size for Possible Water Uses

Abstract

In this study we carried out hydrological calculations by the Moran's reservoir sizing method about the planned flood reducing reservoir on Baranya canal at Magyarország. The State Organization of Water Management (the DDVIZIG) prepared the engineering plan of „The Possibilities of Constructing a Reservoir on Baranya Canal” in 2013. In this study you can also find the plan of the Magyarország Reservoir which is meant to reduce the high-water level in spring by stopping the water. The other main point of the Magyarország Reservoir is to provide water for different purposes like irrigation during the periods of dry weather. In this study the theoretically biggest reservoir size is calculated. In case of withdrawing the largest amount of water from this reservoir the possibility of exhaustion is minimal, so the certainty of water supply is maximal. For the calculations we used the data between 2012 and 2018. The shortness of the period (7 years) made us capable of calculating the approximate optimal size of the reservoir without the help of using computer. For the precise calculations more data are needed, but this small amount of data is sufficient for the preliminary estimates and describing the calculating method.

Keywords

water storage in reservoirs, Moran's model, Markov chain, the matrix of transition probabilities, stationary limiting distribution, probability of exhaustion.

BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedben a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (DDVIZIG) működési területének dombvidékein (Kapos -, Baranya-csatorna -, Karasica vízgyűjtői) – a szélsőséges időjárás következményeként – gyakran fordult elő (legutóbb 1999, 2005, 2010 és 2015 években) rövid ideig tartó, heves eső. Ezek a szélsőséges meteorológiai események úgynevezett villámárvízet okoztak. Az előre nehezen megjósolható, gyors lefolyású árvizek jelentős helyi vízkárokat okoztak a vízgyűjtő lakott, illetve mezőgazdasági művelésű területein egyaránt. A Baranya-csatorna vízgyűjtőjén különösen nagy károkat okoztak a 2010. évi május–június havi esőzésekkel kialakult árhullámok. A DDVIZIG 2013-ban bemutatta a „Tározási lehetőségek a Baranya-csatorna vízgyűjtőjén” megnevezésű műszaki tanulmánytervet, melynek kidolgozása 2015-ig tartott. A tanulmányterv feltárta a tározóépítésre alkalmas helyeket a Baranya-csatorna vízgyűjtő jelentősebb vízfolyásain. A lehetséges tározók között szerepelt a Magyarorszáki tározó, melynek az elképzelések szerint a vízkárenyhítés szempontjából lenne jelentős szerepe. Az új tározó a Baranya-csatorna felső

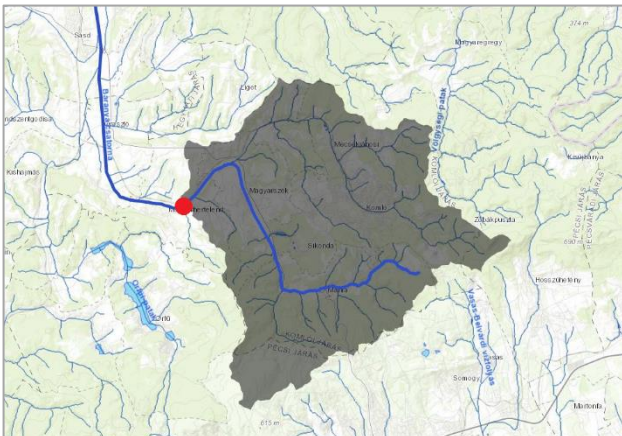
szakaszáról, valamint a Kaszánya-patakon érkező árvizek visszatartását biztosítaná. A másodlagos célja a víztartalékolás, öntözővíz biztosítása lenne (DDVIZIG 2015). Cikkünkben a másodlagos célnak legjobban megfelelő tározóméretet szeretnénk becsülni, azaz azt a gazdaságos, lehető legnagyobb méretet, melynél a vízszolgáltatás biztonsága maximális a lehető legnagyobb vízkivétel mellett is.

VÍZRAJZI ÉS TERÜLETI ADATOK

A tervezett tározó Magyarország déli részén helyezkedik el, közigazgatásilag a Baranya megyéhez tartozó Magyarország és Magyarhertelend községek külterületén. Magyarország tájainak rendszertani felosztása (Marosi és Somogyi 1990) szerint a Baranya-csatorna vízgyűjtőterülete a Dunántúli-dombság nagytáj, a Mecsek és Tolna-Baranyai-dombság középtáj, Mecsekvidék kistájcsoporton belül a Mecsek-hegység és a Baranyai-Hegyhát kistájon helyezkedik el. Határai: É-on a Kapos folyó, Ny-on a Zselic, K-en a Völgység, D-en a Mecsek. Éghajlata mérsékelt meleg, mérsékelt nedves. A napsütéses órák száma 2000–2050 óra között van. Évi középhőmérséklet 9,5 °C körüli.

A csapadék évi összege átlagosan 710 – 800 mm között változik.

A tervezett Magyarorszáki tározó a Baranya-csatorna nevű víztest felső szakaszán épül, közel a Baranya-csatorna felső és Kaszánya-patak víztest alsó határához (DDVIZIG 2015). A Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Terv (VGT 2010) háttéranyaga foglalkozik az éghajlatváltozásra való felkészüléssel is. A vízjárásra vonatkoztatott valószínű jövő szerint a hőmérséklet és a párolgás növekedésével várhatóan kisebb lesz az évi lefolyás. A csapadék éven belüli átrendeződésével a téli hónapokban nő, a nyáriakban csökken a lefolyás. A nyári hónapokban a kisvizek időtartama hosszabbodik, a tavakban az alacsony vízállások gyakorisága nő, időtartamuk hosszabbodik. Az éghajlatváltozásból adódó szélsőséges időjárási helyzetek a villámárvizeknek kedvezőbb feltételeket biztosítanak, ezért az árhullám csökkentés növekvő kihívást jelent a jövőben (Balatonyi 2016). Ugyanakkor a csapadék klímaváltozásból következő, éven belüli átrendeződése a víz visszatartás és vízhasznosítási célok egyre nagyobb igényét vetíti előre. Ez mind indokolja a víztározók tervezését, építését (Gálai 2011). A Magyarorszáki tározóhoz tartozó vízyűjtőterület elhelyezkedése az 1. ábrán látható.



1. ábra. Magyarorszáki tározó vízyűjtő területe (Forrás: <http://ddvir.ddvizig.hu>)

Figure 1. Catchment area of the Magyarorszáki Reservoir (Source: <http://ddvir.ddvizig.hu>)

A MORAN-FÉLE ELJÁRÁS BEMUTATÁSA

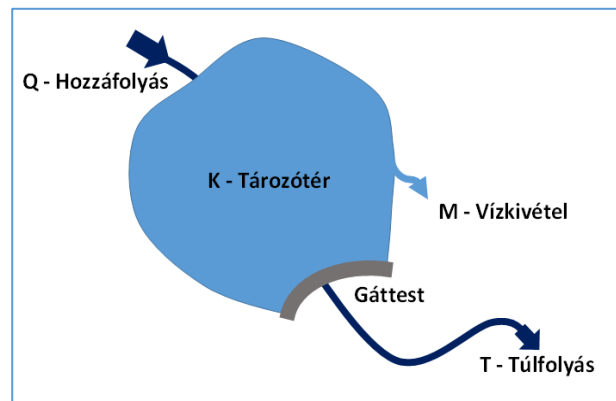
A Moran-modell a tározóban végbemenő folyamatokat vizsgálja, azaz elemzi a tározók állapotváltozásait. A modell alapfeltételei (Moran 1959):

- A tározó az időegység (Δt) első felében töltődik, azaz nincs vízkivétel, csak hozzáfolyás, az időegység második felében történik a vízkivétel, ilyenkor nem vesszük figyelembe a hozzáfolyást.
- A tározóba folyó vízmennyiségek függetlenek egymástól, azaz $P(Q_{\Delta t_k} | Q_{\Delta t_{k-1}}) = P(Q_{\Delta t_k})$
- A tározót olyan rendszernek tekintjük, melynek véges sok állapota (telítettségi foka) van, valamint az egyes állapotok bekövetkezésének valószínűségei csak a közvetlenül előtte álló állapotoktól függenek, állapotait véletlenszerűen változtatja. (Az állapotok sorozata szto-

chasztikus folyamatot, úgynevezett *Markov-lánccot* alkot. A *Markov-tulajdonság* azt jelenti, hogy a folyamat jövőbeni állapota csak a jelen állapottól függ, a múltbeli történésektől nem, azaz a rendszer jelenbeli állapota a lényeges, és nem az, hogy miként került a rendszer ebbe az állapotba.)

- A tározó fix küszöbű bukóval van ellátva, amely a többlet vízmennyiséget tovább enged.

Az alábbi egyszerűsített 2. ábra mutatja az eljárás logikai vázát:



2. ábra. Moran-modell elemei
Figure 2. The elements of Moran's model

Az alapul választott Δt időegység rendszerint egy év vagy egy hónap. Célszerűbb egy évet venni, mivel így a hozzáfolyások függetlenségének hipotézise rendszerint teljesül, a $\Delta t=1$ hónap időegységénél már nem minden esetben. Ha $\Delta t=1$ év, akkor a hozzáfolyás a téli félévben, a vízkivétel a nyári félévben történik, így ezen feltétel miatt a tározási modell különösen a mezőgazdasági vízhasznosítású tározókra jól alkalmazható. A tározó működését leg-tömörebben a Moran-féle úgynevezett minimax egyenlet fejezi ki (Kontur és társai 1993):

$$\xi_t^{\text{össz}} = \max\{\min[(\xi_{t-1}^{\text{össz}} + Q_t), K] - M, 0\}, \quad K > M,$$

ahol t az időpontot jelöli ($\Delta t=1$ év időlépéssel); $\xi_t^{\text{össz}}$, $\xi_{t-1}^{\text{össz}}$ a tározó adott év őszi feltöltöttségi állapotát, mint valószínűségi változó írja le; Q_t az adott évi hozzáfolyás a , mint valószínűségi változó; K a teljes tározótér és M a vízkivétel konstansok. A szögletes zárójelben lévő szélsőérték (minimum) az adott év tavaszán a tározóban található vízkészletet jelöli, ami nem lehet több, mint a K teljes tározótérfogat, ezt szintén valószínűségi változóként értelmezzük. Az így megkapott minimális készletből használjuk fel az M vízkivételt, ezt jelöli a $-M$. A tározótér őszi feltöltöttségi állapotát vagy a megmaradt vízkészlet vagy az üres tározótér (a 0 jelöli) jellemzi.

Első lépésként határozzuk meg az $G(x) = P(Q_t < x)$ empirikus eloszlásfüggvényt, ami a tározóba érkező lehetséges vízmennyiségek meg-nem haladási valószínűségét, tartóssági görbéjét adja. Az így kapott görbéről kinyerhető tetszőleges $G(x)$ érték felhasználásával már meghatározható ismert K és M függvényében a Δt időszak végi (őszi) tározóállapotok valószínűségi eloszlása, azaz az $F(x) = P(\xi^{\text{össz}} < x)$ elméleti eloszlásfüggvény.

A feladatunk megoldásához $G(x)$ és $F(x)$ felhasználásával kiszámítjuk a

$$P_{ij} = P(\xi_t^{\text{össz}} = j | \xi_{t-1}^{\text{össz}} = i)$$

egylépéses átmenet-valószínűségeket, majd azok határel-oszlását.

Jelöljük valamely rendszer állapotait a $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n, \dots$ időpontokban az $X_0, X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$ valószínűségi változók felvett értékei. Legyen a t_0 időpontban $X_0 = x_0$, és a t_n időpontban i , a t_{n+1} időpontban j állapotban a rendszer, azaz $X_n = i$ és $X_{n+1} = j$. *Egylépéses átmenet-valószínűségnek* nevezzük azt a valószínűséget, hogy X_{n+1} a j állapotban van, feltéve, hogy X_n az i állapotban van. Képlettel: $P_{ij}^{n,n+1} := P(X_{n+1} = j | X_n = i)$.

A matematikai leírás jobb megértése érdekében osszuk fel a K tározóteret karakterisztikus térfogategységre, ami azt jelenti, hogy a K, M és Q értékeket ilyen egységekben értelmezzük (pl. 10^6 m^3). Az egylépéses átmenet-valószínűség azt jelenti, hogy egy adott állapotból milyen valószínűséggel megy át a feltöltöttség egy egységnyivel eltérő állapotba. Keresett mátrixunk bal felső P_{00} eleme az üres tározótérből való üres tározóterbe való átmenet- valószínűségét mutatja. Ez úgy történhet, ha az üres tározóterünkbe érkező valamennyi vízhozamot felhasználtuk ($M \geq Q$).

Ha az egylépéses átmenet-valószínűségek függetlenek n -től, azaz az időtől (esetünkben 1 év), akkor azt mondjuk, hogy a Markov-folyamatnak *stacionáriusak az átmenet-valószínűségei*. A Markov-láncok döntő többsége rendelkezik ezzel a tulajdonsággal. Ebben az esetben

$$P_{ij}^{n,n+1} := P_{ij}$$

és P_{ij} annak a valószínűségét jelenti, hogy az állapotok értéke az i -ből j -be megy át egy kísérlet alatt. Most már fel tudjuk írni formálisan a *Markov-tulajdonságot*:

$$P(X_{n+1} = j | X_n = i, X_{n-1} = x_{n-1}, \dots, X_1 = x_1, X_0 = x_0) = P_{ij}$$

A P_{ij} számok mátrix formájában is elrendezhetők. A $\mathbf{P} = (P_{ij})$ mátrixot a folyamat *átmenet-valószínűség mátrixának* nevezzük.

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0k} \\ P_{10} & P_{11} & \dots & P_{1k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{k0} & P_{k1} & \dots & P_{kk} \end{bmatrix}$$

Az egylépéses átmenet-valószínűségi, kvadratikussá mérete általánosságban: $K-M+1$. A P_{ij} mennyiségek nemnegatív számok, sorösszegük egységnyi, mert valamely esemény soronként biztosan bekövetkezik. A Markov-láncot teljes mértékben meghatározza az átmenet-valószínűség mátrixa (P_{ij}) és a folyamat 0 időpillanatbeli valószínűségeloszlása. A

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

mátrixot *határmátrixnak* nevezzük. A P_0, P_1, \dots, P_k valószínűségek azt fejezik ki, hogy mekkora valószínűséggel találjuk a rendszert hosszú állapotváltozások sorozata után az egyes $0, 1, \dots, k$ állapotokban. Kellően sok évet vizsgálva az átmenet-valószínűségi mátrixunk oszlopainak elemei állandósulnak és megmutatják annak a valószínűségét, hogy a j -ik oszlopnak megfelelő, vagyis j karakterisztikus egységnyi vízmennyiség milyen valószínűség mellett található a tározóban. A határmátrix számításához két eljárást követhetünk. Addig hatványozzuk \mathbf{P} -t, amíg annak oszlopainak elemei állandósulnak. Vagy felhasználjuk a határmátrix idempotens tulajdonságát, azaz $\mathbf{P}^* \mathbf{P} = \mathbf{P}^*$ tulajdonságot, ami egy egyenletrendszer megoldásához vezet.

Visszatérve a feladathoz végeredményben megkapjuk a különböző felvett tározótérfogatok (K), vízfogyasztások (M) és vízszolgáltatási valószínűségek (p) összefüggését, azaz a többéves kiegyenlítésű tározó teljesítőképességi görbeseregét, ahol a *vízszolgáltatás biztonsága*: $p=1-P_0$, ahol P_0 a kiürülés határvalószínűsége.

A TÁROZÓMÉRET SZÁMÍTÁSA

A Baranya-csatorna 3+200 km szelvényben található a DDVIZIG csikóstöttösi vízrajzi mérőállomása. Az állomás 1935 óta méri a vízállás-vízhozam adatokat, a csatornán máshol nincs vízrajzi állomás. A DDVIZIG-től kapott utóbbi évi adatok alapján a havi vízhozamok középértékeit Csikóstöttösnél az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A Baranya-csatorna csikóstöttösi szelvényének havi átlagos vízhozamai [m^3/s]
Table 1. The average monthly runoff of the Baranya Canal at Csikóstöttös [m^3/s]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2012	0,863	1,437	1,145	0,479	1,452	0,564	0,161	0,091	0,137	0,307	0,246	0,659
2013	1,68	3,011	8,243	6,732	1,086	0,791	0,286	0,181	0,267	0,469	0,558	0,372
2014	0,452	2,6	0,921	0,512	4,585	0,511	0,719	2,228	7,522	8,550	1,715	3,269
2015	4,317	5,151	3,508	1,309	4,177	0,838	0,380	0,295	0,507	3,056	0,804	0,564
2016	2,045	3,419	2,750	0,759	1,735	0,967	5,358	2,816	0,727	1,062	3,622	0,792
2017	0,560	2,921	2,089	1,004	1,787	0,431	0,407	0,263	0,331	1,000	0,659	2,390
2018	1,620	2,793	9,006	3,438	0,643	0,728	1,051	0,388	0,757	0,277	0,424	0,290

A magyarszéki 22+600 km-es szelvény jellemző vízhozamainak meghatározásához a hidrológiai analógia módszerét követtük. A tervezett tározó vízkivételi helye felett torkol-

lik a Baranya-csatornába a Kaszánya-patak, amelynek vízgyűjtője közel azonos a Baranya-csatorna betorkollás feletti vízgyűjtőjével. Az Igazgatóság DDVIR programjának víz-

gazdálkodási moduljával lehatárolt vízgyűjtőterület (1. ábra) a tározó szelvényében: 100 km^2 . A programmal számolt középvízhozam $0,506 \text{ m}^3/\text{s}$, a $Q_{\text{aug80\%}}$ vízhozam $0,062 \text{ m}^3/\text{s}$, az

ökológiai vízigény $0,034 \text{ m}^3/\text{s}$. A kalibrált vízhozamokat Magyarországnál a 2. táblázat tartalmazza. (A Csikóstöttösön észlelt vízhozam kb. 28 %-a jelentkezik ebben a szelvényben.)

2. táblázat. A Baranya-csatorna magyarországi 22+600 km-es szelvényére számított havi átlagos vízhozamok [m^3/s]
Table 2. The average monthly runoff (m^3/s) of the Baranya Canal at Magyarország (22+600 km section)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2012	0,242	0,404	0,322	0,134	0,408	0,158	0,045	0,025	0,038	0,086	0,069	0,185
2013	0,472	0,847	2,319	1,894	0,305	0,222	0,080	0,050	0,075	0,132	0,157	0,104
2014	0,127	0,731	0,259	0,144	1,290	0,144	0,202	0,626	2,116	2,405	0,482	0,919
2015	1,214	1,449	0,987	0,368	1,175	0,235	0,107	0,083	0,142	0,860	0,226	0,158
2016	0,575	0,962	0,773	0,213	0,488	0,272	1,507	0,792	0,204	0,298	1,019	0,223
2017	0,157	0,821	0,587	0,282	0,502	0,121	0,114	0,074	0,093	0,281	0,185	0,672
2018	0,455	0,786	2,534	0,967	0,181	0,204	0,295	0,109	0,213	0,078	0,119	0,081

Ez alapján egyszerűen kiszámítható a téli félév (I-II-III-X-XI-XII. hó) alatt lefolyt vízmennyiség (3. táblázat).

3. táblázat. Magyarországon a téli félévekben lefolyt vízmennyiségek Q_t karakterisztikus egységben (10^6 m^3) kifejezve
Table 3. The amount of water going through the Magyarország Reservoir during the winter months expressed by Q_t characteristic units (10^6 m^3)

Év	A téli félév alatt lefolyt vízmennyiség Q_t [10^6 m^3]
2012/2013	10,437723
2013/2014	3,847793
2014/2015	19,563199
2015/2016	9,341155
2016/2017	8,025850
2017/2018	12,947038

4. táblázat. Wald-Wolfowitz próba elemeinek számítása

Table 4. The calculation of the factors of the Wald-Wolfowitz test

i	X_i	$X'_i = X_i - \bar{X}$	$X_i'^2$	$X_i'^4$
1	10,44	-0,255	0,065	0,00423
2	3,85	-6,845	46,854	2195,3
3	19,56	8,865	78,588	6176,073
4	9,34	-1,355	1,836	3,37
5	8,03	-2,665	7,102	50,438
6	12,95	2,255	5,085	25,857
	$\bar{X} = 10,695$		$\Sigma = 139,53 = S_2$	$\Sigma = 8451,042 = S_4$

Számítsuk ki a következő statisztikát:

$$R = \sum_{i=1}^{n-1} X'_i X'_{i+1} + X'_n X'_1 = -73,921$$

Wald és Wolfowitz kimutatták, hogy az

$$E(R) \approx -\frac{S_2}{n-1} = -27,906,$$

$$D(R) \approx \sqrt{\frac{S_2^2 - S_4}{n-1} + \frac{S_2^2 - 2S_4}{(n-1)(n-2)} - \frac{S_2^2}{(n-1)^2}} = 39,4.$$

Ezekből már kapjuk, hogy $|R^*| = 1,167 < 1,96$, azaz a téli félévben lefolyt vízmennyiségek valóban függetlenek és azonos eloszlásúak.

A téli félév alatt lefolyt vízmennyiségeket osztályközökbe soroljuk és beírjuk az abszolút gyakoriságokat (5. táblázat).

Ezek után felvesszünk különböző tározótérfogatokat (K [10^6 m^3]) és vízkivételeket (M [10^6 m^3]), majd számíthatjuk

Hangsúlyozzuk, hogy a rendelkezésre álló időszor tározóméretezési célokra igen rövid, megbízhatóbb eredmények eléréséhez lényegesen hosszabb időszorokkal kellene számításokat végezni, de célunk most csak az, hogy az olvasó betekintést kapjon a sztochasztikus módszerrel való számításba és becsljünk egy optimális és gazdaságos tározóméretet.

A számítás ismertetése előtt célszerű ellenőrizni, hogy az egymást követő évek alatt lefolyt vízmennyiségek független és azonos eloszlású valószínűségi változók. Ezt például a Wald-Wolfowitz véletlenségvizsgálati próbával eldönthetjük (Reimann és V. Nagy 1984) (4. táblázat).

$$R^* = \frac{R - E(R)}{D(R)}$$

standardizált valószínűségi változó aszimptotikusan standard normális eloszlású, azaz, ha $|R^*| < 1,96$, akkor a függetlenségre vonatkozó hipotézist 95%-os szinten elfogadjuk.

a hozzátartozó határváltozásokat. Cikkünkben összesen 11 változatot számítottunk, melyből 7-et az alábbiakban sorszámozva részleteztünk is. Q_t [10^6 m^3] jelöli a hozzáfolyást a téli félévben (Zsuffa és Csapó 1970).

1. Elsőként legyen $K=10$ [10^6 m^3] és $M=9$ [10^6 m^3] a nyári félévben. Ekkor az egy lépéses átmenetvalószínűségi mátrix mérete: $K-M+1=10-9+1=2$. Vagyis mátrixunk 2×2 -es lesz, azaz négy módon kerülhet a rendszer két féle állapotba a vízkivétel után: üres vagy $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -es teltség.

$$P_1 = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}$$

P_{00} az üres állapotból üres állapotba kerülés valószínűsége: $M=9$, így a tározó üres lesz, ha a téli félévben $Q_t=9$ vagy annál kevesebb hozzáfolyás történik. Összegezzük a $Q_t=9$ vagy annál kisebb hozzáfolyások gyakoriságát az 5. táblázatunkban. Ez 3 esetre adódik, így az összes eset függvényében a relatív gyakoriság $P_{00} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$.

5. táblázat. Q_t gyakoriságának meghatározása osztályközönként
Table 5. Calculating the frequency of Q_t per categories

Osztályközök [$10^6 m^3$]	Abszolút gyakoriság
3,5 – 4,5	1
4,5 – 7,5	0
7,5 – 8,5	1
8,5 – 9,5	1
9,5 – 10,5	1
10,5 – 12,5	0
12,5 – 13,5	1
13,5 – 19,5	0
19,5 – 20,5	1
Összesen	6

P_{01} az üres állapotból a tározó 1-es teltségi állapotába való kerülésének valószínűsége. Ez $M=9$ vízkivétel esetén $Q_t=10$ vagy annál nagyobb hozzáfolyásnál következik be.

$$P_4 = P_2^2 = \begin{bmatrix} 5 & 7 \\ 12 & 12 \\ 7 & 11 \\ 18 & 18 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 5 & 7 \\ 12 & 12 \\ 7 & 11 \\ 18 & 18 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 173 & 259 \\ 432 & 432 \\ 259 & 389 \\ 648 & 648 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} 0,4 & 0,6 \\ 0,4 & 0,6 \end{bmatrix}$$

Tehát az 5. táblázat 5. sorától összegezzük a gyakoriságokat, ez alapján $P_{01} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$. $Q=10$ -nél nagyobb hozzáfolyás esetén az árapasztó műtárgyon a fölös vízmennyiségek túlfolyanak, hiszen $K=10$ a maximális tározókapacitás.

P_{10} az 1-es teltségi állapotból az üres állapotba kerülés valószínűsége. Ez $M=9$ vízkivétel esetén $Q_t=8$ vagy annál kisebb hozzáfolyás esetén következik be. Ennek valószínűsége: $P_{10} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$.

P_{11} az 1-es teltségi állapotból 1 állapotba kerülés valószínűsége. Ez $M=9$ vízkivételnél akkor következik be, ha a Q_t hozzáfolyás 9 vagy annál nagyobb, mivel az előző évből maradt $1 \cdot 10^6 m^3$. Így $P_{11} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}$.

Az előzőek alapján: $P = P_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix}$. Ebből kiszá-

míthatjuk a határmatrixot a $P^* = \lim_{n \rightarrow \infty} P^n$ alapján:

$$P_2 = P_1^2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{5}{12} & \frac{7}{12} \\ \frac{7}{18} & \frac{11}{18} \end{bmatrix}$$

Ez utóbbi már a határmatrix, mivel az oszlopokban szereplő értékek megegyeznek. A határvalószínűségek: $P_0 = 0,4$ és $P_1 = 0,6$.

Levonhatjuk azt a következtetést, hogy nem lenne a legszerencsésebb a $K=10$ [$10^6 m^3$] és $M=9$ [$10^6 m^3$] választás, mivel 40% valószínűséggel üres lenne a tározó, így a vízszolgáltatás biztonsága csak 60% lenne. Soknak tűnik tehát az $M=9$ vízkivétel.

2. Legyen a második esetben $K=10$ [$10^6 m^3$] és $M=8$ [$10^6 m^3$]. Ekkor az egy lépéses átmenetvalószínűségi mátrix mérete: $K-M+1=10-8+1=3$. Hasonlóan az első esethez, a P_{ij} értékek számításánál az 5. táblázat megfelelő gyakoriságait kell figyelembe venni az egy lépéses átmenetvalószínűségi mátrix felírásához:

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} \\ \frac{1}{6} & 0 & \frac{5}{6} \end{bmatrix}$$

A P mátrix első oszlopának elemeihez $Q \leq$ (meg-nem haladási), az utolsó oszlopban $Q \geq$ (meghaladási), addig a középső oszlopokban $Q =$ (pontos vízmennyiség) előfordulásának valószínűségét keressük. Ezért most P_{01} azaz üres állapotból a tározó 1-es teltségi állapotába való kerülésének valószínűségéhez kizárólag a $Q=9$ előfordulását kell megállapítanunk. Tehát az 5. táblázat 4. sorában szereplő gyakoriságot vesszük, ez alapján $P_{01} = \frac{1}{6}$.

A határmatrix számításához fel kell használni a már említett $P^*P = P^*$ tulajdonságot. Ez alapján:

$$\begin{bmatrix} P_0 & P_1 & P_2 \\ P_0 & P_1 & P_2 \\ P_0 & P_1 & P_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} \\ \frac{1}{6} & 0 & \frac{5}{6} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_0 & P_1 & P_2 \\ P_0 & P_1 & P_2 \\ P_0 & P_1 & P_2 \end{bmatrix}$$

Ez az alábbi egyenletrendszerhez vezet (tudjuk, hogy $P_0 + P_1 + P_2 = 1$):

$$2P_0 + P_1 + P_2 = 6P_0$$

$$P_0 + P_1 = 6P_1$$

$$3P_0 + 4P_1 + 5P_2 = 6P_2$$

Rendezve és Gauss-eliminációval megoldva kapjuk, hogy

$$P_0 = 0,2, \quad P_1 = 0,04, \quad P_2 = 0,76.$$

Ezeket az értékeket P mátrix hatványozásával is ellenőriztük, a 8-dik hatványnál teljes azonosságot kaptunk. A rövid, 6 éves adatsor és a számítások alapján a $K=10$ [$10^6 m^3$] és $M=8$ [$10^6 m^3$] jobb választás lenne, de azért 20% valószínűséggel üres lenne a tározó és 10 millió m^3 térfogatú tározó építése egyébként is indokolatlanul nagy lenne Magyarszéknél.

3. Elméleti szinten a harmadik esetben legyen azért $K=10$ [$10^6 m^3$] és $M=7$ [$10^6 m^3$]. A számítások elvégzése előtt sejthető, hogy ez még az előző esetnél is magasabb értéket

fog adni a vízszolgáltatás biztonságát tekintve. Az egylépéses átmenetvalószínűségi mátrix mérete: $K-M+1=10-7+1=4$. Az egylépéses átmenetvalószínűségi mátrix:

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & P_{03} \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{30} & P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{3}{6} \\ \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & \frac{4}{6} \\ \frac{1}{6} & 0 & 0 & \frac{5}{6} \\ \frac{1}{6} & 0 & 0 & \frac{5}{6} \end{bmatrix}$$

Az előző esethez hasonlóan, felhasználva a határvalószínűségi mátrix projektor (idempotens) tulajdonságát, megoldhatjuk a négy ismeretlenes egyenletrendszer. A megoldás adja a határeloszlást:

$$P_4 = P_2^2 = \begin{bmatrix} 8 & 28 \\ 36 & 36 \\ 7 & 29 \\ 36 & 36 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 8 & 28 \\ 36 & 36 \\ 7 & 29 \\ 36 & 36 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 260 & 1036 \\ 1296 & 1296 \\ 259 & 1037 \\ 1296 & 1296 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} 0,2 & 0,8 \\ 0,2 & 0,8 \end{bmatrix}$$

Megállapíthatjuk, hogy ez a méretezés és vízkivétel sem lenne a leggazdaságosabb, mivel a határvalószínűségek:

$$P_0 = 0,2 \text{ és } P_1 = 0,8.$$

5. Maradjunk ennél a méretnél, de vegyük lejjebb a vízkivételt, azaz $K=9$ [10^6 m^3] és $M=7$ [10^6 m^3]. Az egylépéses átmenetvalószínűségi mátrix:

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{4}{6} \\ \frac{1}{6} & 0 & \frac{5}{6} \\ \frac{1}{6} & 0 & \frac{5}{6} \end{bmatrix}$$

Kiszámítva a határvalószínűségeket adódik, hogy $P_0 = 0,17$; $P_1 = 0,03$ és $P_2 = 0,8$, tehát ehhez a méretezéshez az $M=7$ vízkivétel jobb választás. Az ennél kisebb vízkivételeket már nem szükséges vizsgálni, mert 83 %-os biztonságnál csak nagyobb értéket kaphatunk.

6. Építsünk most még kisebb tározót, legyen $K=8$ [10^6 m^3] és $M=7$ [10^6 m^3]. Ekkor a

$$P_1 = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{6} & \frac{5}{6} \\ \frac{1}{6} & \frac{5}{6} \end{bmatrix}$$

egylépéses átmenetvalószínűségi mátrix egyúttal a határ-mátrix is, tehát $P_0 = 0,17$ és $P_1 = 0,83$. Itt a méretezés gazdaságosabb lenne, mint az 4. esetben, hiszen a kiürülési valószínűségek egyenlők. Tehát ugyanazt a biztonságot azonos vízkivétel esetében lényegesebb kisebb tározóval is elérhetjük.

7. Nézzük meg végül a $K=7$ [10^6 m^3] és $M=5$ [10^6 m^3] esetet. Az egylépéses átmenetvalószínűségi mátrix:

$$P_0 = 0,17, \quad P_1 = 0,03, \quad P_2 = 0,03, \quad P_3 = 0,77.$$

Az $M=7$ vízszolgáltatás biztonsága $1-P_0=83\%$ -ra növekszik, ami elég jó eredmény, de a már megtervezett tározó-térfogat több mint hatszorosát igényelné, mint kapacitás.

4. Tervezzünk most eggyel kisebb méretű tározót, azaz legyen $K=9$ [10^6 m^3] és $M=8$ [10^6 m^3]. A számításokat az 1. esethez hasonlóan végezzük.

$$P_1 = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{6} & \frac{4}{6} \\ \frac{1}{6} & \frac{5}{6} \end{bmatrix}$$

$$P_2 = P_1^2 = \begin{bmatrix} \frac{2}{6} & \frac{4}{6} \\ \frac{1}{6} & \frac{5}{6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{2}{6} & \frac{4}{6} \\ \frac{1}{6} & \frac{5}{6} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{8}{36} & \frac{28}{36} \\ \frac{7}{36} & \frac{29}{36} \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{6} & 0 & \frac{5}{6} \\ \frac{1}{6} & 0 & \frac{5}{6} \\ 0 & \frac{1}{6} & \frac{5}{6} \end{bmatrix}$$

Kiszámítva a határvalószínűségeket adódik, hogy $P_0 = 0,03$; $P_1 = 0,14$ és $P_2 = 0,83$. Ezzel elérkeztünk az elméletileg lehetséges legnagyobb tározóméret becsült értékéhez ($K=7$), melyben a kiürülés valószínűsége a lehető legnagyobb vízkivétel ($M=5$) mellett is minimális ($P_0=3\%$), azaz a vízszolgáltatás biztonsága maximális ($1-P_0=97\%$).

A további számítások részletezésétől eltekintve a 6. táblázatba foglaltuk valamennyi számításunk eredményét, azaz a tározó kiürülési valószínűségeit és az egyéb állapotvalószínűségeket:

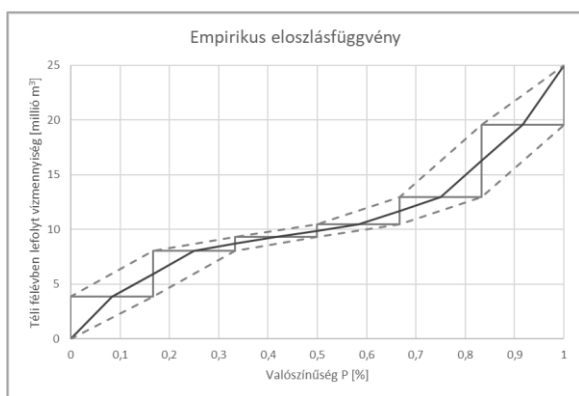
6. táblázat. A különböző tározóméretetek és vízkivételekhez számított állapotvalószínűségek értékei

Table 6. The values of the transition probabilities for the different reservoir sizes and water withdrawal

K [10^6 m^3]	M [10^6 m^3]	P_0	P_1	P_2	P_3
10	9	0,4	0,6		
10	8	0,2	0,04	0,76	
10	7	0,17	0,03	0,03	0,77
9	8	0,2	0,8		
9	7	0,17	0,03	0,8	
8	7	0,17	0,83		
8	6	0,17	0	0,83	
7	6	0,17	0,83		
7	5	0,03	0,14	0,83	
6	5	0,17	0,83		
6	4	0	0	1	

Az ismertetett elméleti háttér alapján, egyszerű táblázatkezelő szoftver segítségével algoritmizáltuk a számításokat és 11 eset helyett immár K és M 1767 kombinációját vizsgáltuk meg. Itt is az 5. táblázatban megadott gyakori-

sági értékeket használtuk, de a számítások egyszerűsítése végett két apró módosítással éltünk. Először az elméleti eloszlásfüggvények alakjának biztosítása miatt 25 millió m³ lefolyt vízmennyiséget vettük a maximumnak. Az így megrajzolható empirikus lépcsős eloszlást a 3. ábra szemlélteti. Másodszer az empirikus eloszlás lépcsős függvénye helyett annak burkolóit és kiegyenlítő görbéjét vettük alapul a gyakorisági értékek meghatározásánál. Ennek oka a kevés adatból eredő nagy lépcsőméret volt. A burkolókat a lépcsőfokok alsó, illetve felső sarkait összekötő törtvonalakon lineáris interpolációval számoltuk. A kiegyenlítő görbét pedig a lépcsőfokok közepén áthaladó vonalláncként vettük fel és a töréspontok közötti értékeket szintén lineáris interpolációval számítottuk.



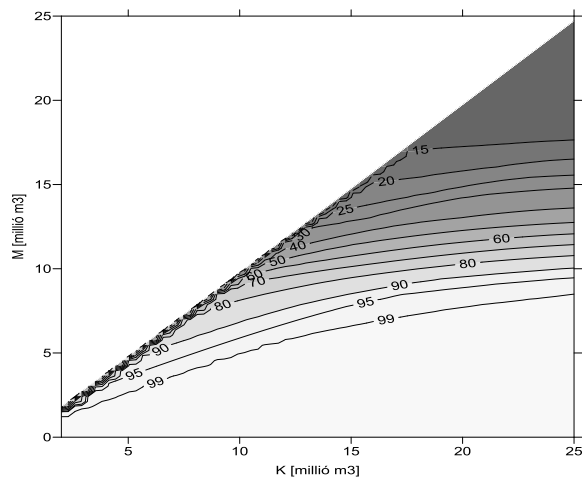
3. ábra. Empirikus eloszlásfüggvény közelítése
Figure 3. The approximation of the empirical distribution function

Az így értelmezett három gyakorisági görbe alapján három féle P átmenet-valószínűségi mátrixot állítottunk elő ($P_{alsó}$, $P_{középső}$, $P_{felső}$). Zuffa és Gálai (1987) nyomán egyenletrendszer megoldási módszerrel kiszámoltuk mindhárom mátrixból az ergodikus határállapot eloszlást (határmátrix), melyekből a kiürülés P_0 valószínűségi értékét használtuk fel. Ezt követően egyszerű kivonással $(1-P_0) \cdot 100$ megkaptuk az adott K-M kombinációhoz tartozó vízszolgáltatási biztonság értékét. Ez természetesen minden K-M párosításhoz három eredményt adott: egy alsó-, egy felső- és egy közepes vízszolgáltatási biztonsági értéket. A szemléletesség kedvéért a 4. ábrán grafikusán is bemutatjuk az empirikus lépcsős függvény kiegyenlítő görbéje alapján számított vízszolgáltatás várható biztonságát. Az ábra szerkesztésénél azt is figyelembe vettük, hogy $K=M$ esetén a biztonság mindig zérus, illetve $M=0$ esetén a biztonság mindig 100 %-os.

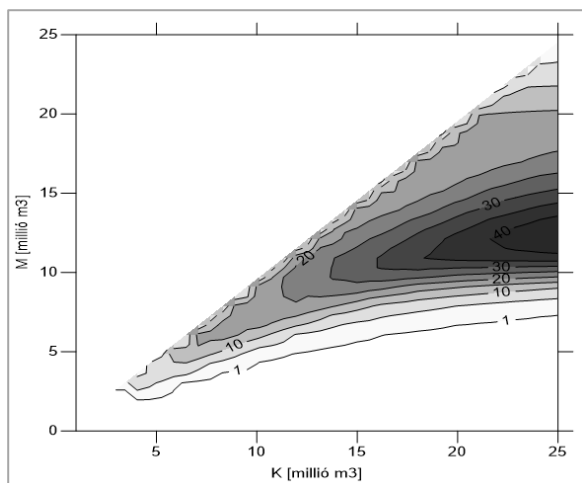
Utolsó lépésként, felhasználtuk a 3. ábrán bemutatott, lépcsős függvény, burkoló görbéiből származtatott alsó és felső vízszolgáltatási biztonság értékeket is. Ezek a számítások a 4. ábrához hasonló grafikonokat szolgáltatottak. Az így kapott két grafikon különbsége minden egyes K-M párosításhoz megadja azt a szignifikancia sávot, melyben a 4. ábráról leolvasott eredmény értelmezhető. Ezzel tulajdonképpen az eredménynek az alapadatok mennyiségétől függő megbízhatóságára is becslést kapunk (5. ábra).

Ez egy fontos információ, mert a rövid idősor alapján - melyre a vizsgálatunkat építettük - csak nagy lépcsőfokokkal rendelkező empirikus eloszlást szerkeszthetünk, ami lényegesen kevésbé megbízható eredménnyel szolgál, mint egy

hosszabb idősor. Kellően hosszú idősor esetén az empirikus eloszlás egyre jobban közelítene egy folytonos, elméleti eloszlásfüggvényhez. Az 5. ábrán jól látható, hogy 15 millió m³-t meghaladó tározótérfogat (K) és 10-15 millió m³ vízkivétel (M) tartományban az eredmény bizonytalansága már 20 %-ot meghaladó sávban van. Míg a kézi számítás eredményei a 10 %-osan megbízható tartományon belül mozognak.



4. ábra. Különböző tározótérfogatokhoz (K) és vízkivételekhez (M) tartozó vízszolgáltatási biztonság
Figure 4. The water supply certainty for different reservoir capacity (K) and water withdrawal (M)



5. ábra. Különböző tározótérfogatokhoz (K) és vízkivételekhez (M) tartozó vízszolgáltatási biztonsági értéktartomány megbízhatósága

Figure 5. The reliability of the water supply certainty domain for different reservoir capacity (K) and water withdrawal (M)

KÖVETKEZTETÉSEK

Cikkünkben az utóbbi 7 évben Csikóstöttösön, a Baranyacsatornán mért havi középvízhozamokat számítottuk át a magyarországi havi középvízhozamokra, majd ezekből az adatokból meghatároztuk a téli félévben lefolyt vízmennyiségeket. Wald-Wolfowitz-próbával megmutattuk, hogy ezek az adatok, mint valószínűségi változók függetlenek és azonos eloszlásúak, tehát statisztikai mintát képeznek. Mindezek alapján rövid idősorunk is használhatóvá vált a Moran-féle tározóméretezési módszer bemutatására. A méretezési eljárás során különböző tározóméret és vízkivétel esetén számítottuk, hogy az ismertnek tekintett eloszlású hozzáfolyás alapján mekkora valószínűség-

gel kerül a tározó különféle telítettségi állapotokba és mekkora lesz a kiürülés valószínűsége. A kézi számítások alapján azt kaptuk, hogy ha a lehető legnagyobb vízmennyiséget szeretnénk kivenni az ehhez tartozó leggazdaságosabb térfogat mellett, akkor ezt a $K=7 [10^6 m^3]$ és $M=5 [10^6 m^3]$ esetben érhetjük el 97%-os biztonsággal. Ugyanehhez a kombinációhoz gépi számítással is kiszámoltuk vízszolgáltatási biztonság alsó-, közép- és felső értéket (85,64; 92,99; 100,00), mely visszaigazolta kézi megoldásunk helyességét. Ez a tározótérfogat azonban csak egy elméleti érték, a magyarorszáki tározó tervezett méretei ($K=1,28 [10^6 m^3]$) ennél jóval szerényebbek. A kiépíthetőség méretének a geomorfológia nyilvánvaló korlátait is figyelembe kellett venni, másrészt nem a vízkivétel maximalizálása volt a tározóépítés elsődleges célja. Ha azonban a jövőben egyszer a vízkivétel maximalizálása lenne a fő cél, akkor további tározóterek kiépítésével a kisvízfolyásban rejlő vízhasznosítási kapacitás még tovább fokozható. Ilyen igény esetén a hozzáférhető teljes vízhozam adatsorral volna célszerű számításainkat elvégezni, valamint kontrollként a vízhasznosítási teljesítőképességi görbét is meghatározni, például a Rippl-diagram módszerével.



6. ábra. A Magyarorszék tározó látványképe (Forrás: <http://www.ddvizig.hu>)

Figure 6. The planned panorama at Magyarorszék Reservoir (Source: <http://www.ddvizig.hu>)

A Magyarorszék tározótér területének előkészítése befejeződött, így a tereprendezés 2019 tavaszán elkezdődhet, a

A SZERZŐK



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



KEVE GÁBOR okleveles építőmérnök (Budapesti Műszaki Egyetem, 1998), 2018-ban szerzett PhD fokozatot a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen műszaki tudományterületen, építőmérnöki tudományból. 2014 óta főállású oktató, jelenleg a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Karán adjunktus, hidrológia és hidraulika tárgyakat oktat. Főbb kutatási területe a hidrometria, azon belül a folyami jégmegfigyelés.

teljes projekt befejezése 2019 júniusára várható. A létesítmény komplex hasznosítású lesz, vagyis az árvízveszély elhárításán túl lehetőséget teremt majd rekreációs célokra is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondunk Horváth Gábor osztályvezető úrnak, aki a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Vízügyi és Adattári Osztályáról rendelkezésre bocsátotta a számításokhoz szükséges vízhozam adatokat, a Magyarorszék tározó tervezésének műszaki leírását és a tározó alapadatait.

IRODALOMJEGYZÉK

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

DDVIZIG (2015). Magyarorszék tározó – Elvi vízjogi engedélyezési terv, műszaki leírás

Gálai A. (2011). Bolyongás a szikes tavak körül, Szivattyús kisegítő vízutánpótlás tervezése sztochasztikus eszközökkel, Hidrológiai Közlöny 91. évf. 1. szám, p35-39.

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

Marosi S. és Somogyi S. (szerk.) (1990): Magyarország kistájainak katasztere I-II. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest, 1023 old.

Moran (1959). The Theory of Storage. Methuen and Co. Ltd. London

Reimann J. és V. Nagy I. (1984). Hidrológiai statisztika, Tankönyvkiadó, Budapest.

VGT (2010). Magyarország Vízgyűjtő-gazdálkodási Terve; Magyar Közlöny 2010. évi 84. szám (1127/2010. (V. 21.) Korm. határozat)

Zsuffa I. és Csapó Gy. (1970). Tározómedencék méretezése a sztochasztikus folyamatok elméletével, Hidrológiai Közlöny, Budapest

Zsuffa I. és Gálai A. (1987). Reservoir Sizing by Transition Probabilities; Theory, Methodology and Application, a Hardcover engineering textbook. Water Resources Publications. ISBN: 0-918334-62-4 ISBN-13: 978-0-918334-62-6.

Szerves mikroszennyező anyagok (peszticidek és PAH vegyületek) viselkedése a parti szűrés folyamatában Budapesten

Nagy-Kovács Zsuzsanna, Fleit Ernő, László Balázs, Mártonné Czihat Katalin
Fővárosi Vízművek Zrt. 1397 Budapest, Váci út 182. (E-mail: Zsuzsanna.Nagy-Kovacs@vizmuvek.hu)

Kivonat

A parti szűrésen alapuló víztermelés több mint száz éves múltra tekint vissza hazánkban és a világ számos alluviális folyóteraszán elhelyezkedő vízbázist használva víznyerő helyként. A megbízható és költséghatékony működésről rendelkezésre álló hazai és nemzetközi tapasztalatok nem, vagy nem feltétlenül adnak választ arra a kérdésre, hogy hol vannak ennek a természet adta lehetőségnek a határai, azaz hogyan változik a teljesítménye extrém hidrológiai körülmények között. Felmerül a kérdés, vajon alkalmas-e a rendszer a közelmúltban detektált kiemelt fontosságú szennyezőanyagok megfelelő hatékonyságú eltávolítására. Ezekkel a kérdésekkel kapcsolatosan a közleményben bemutatjuk a Fővárosi Vízművek Zrt. parti szűrésű víztermelő rendszerével elért kísérletes eredményeket. A közreadott eredmények és értékelésük egy nagy európai projekt részeként értelmezhetők, ahol is a természetes rendszerek, mint amilyen a parti szűrés kerültek részletesen elemzésre megváltozott körülmények között. A vizsgálatok további célja volt, hogy megvizsgálja és elemezze mindazokat a kapcsolódó vízkezelési eljárásokat, amelyekkel a parti szűrést esetenként ki kell egészíteni ahhoz, hogy a biztonságos ivóvízellátás fenntartható költségek mellett folyamatosan megvalósítható legyen a jövőben.

Kulcsszavak

Parti szűrés, klimatikus változások, természetes víztisztítási technológiák, szerves mikroszennyezők, fordított ozmózis.

Behavior of organic micropollutants in river bank filtration processes

Abstract

Underlying biochemical, microbiological and physicochemical processes of the riverbank filtration have been studied in depth throughout the past century yet still not completely understood. Regarding the changing environmental conditions particularly the increase of the frequencies of extreme hydrological events (floods and droughts) the question rises where are the limits of this particular ecosystem service. Another emerging concern is the fate and removal efficiency of micropollutant materials during the riverbank filtration processes as many of these materials have never been experienced in the raw water previously. This is particularly true for the POP (persistent organic pollutant) category. The paper aims to the present results of the investigations under extreme hydrological conditions by analyzing several dozens of micropollutant materials in the raw water (River Danube), bank filtered water and reverse osmosis treated water. The results are part of an European project (AQUANES) which aimed to investigate the boundaries of the natural water treatment systems, such as the riverbank filtration and to suggest potentially applicable post-treatment methods such as MF, UF, NF (micro-, ultra-, and nanofiltration) and RO (reverse osmosis) systems as necessary to complement the natural systems.

Keywords: Riverbank filtration, climate changes, ecosystem services, organic micropollutants, reverse osmosis.

BEVEZETÉS

A parti szűrést, mint természetes víztisztítási technológiát széles körben használják víztisztítás technológiai módszerként, így elmondható, hogy Európában hozzávetőlegesen 40 millió lakos vízellátása ilyen rendszeren alapul. A definíciónak megfelelően a parti szűrt rendszerekből kitermelt víz minimum 50%-ának kell felszíni vízforrásból származnia. Megfigyelhető, hogy az adott terület nyersvízforrásai, a vízáradó réteg hidrogeológia sajátosságai, a vízbázis védettsége, valamint a kitermelés körülményei egyaránt jelentős hatást gyakorolnak a kitermelt víz minőségére. (Schubert 2006, Davidesz és Debreczeny 2009). Budapest ivóvízellátását több mint 150 éve biztosítjuk parti szűrésű vízbázisokból, amely számos előnyt nyújt a felszíni vízkivételekkel szemben (László 2003). A Dunán az elmúlt évtizedekben tapasztalt látványos vízminőség javulás csaknem minden komponenscsoport esetében tapasztalható volt (szervesanyag frakciók, növényi tápanyagok, oxigénháztartás paraméterei, stb.) Budapest felvízi és alvízi szakaszain egyaránt (ICPDR 2002, 2005, 2008, JDS3 2014). A hagyományos szennyezőanyagok mellett számolnunk kell azonban alacsonyabb mérési határok kapcsán már detektálható szerves mikroszennyező anyagokkal, peszticidekkel, a gyógyszermaradványokkal és egyéb

olyan vegyületcsoporttal, amelynek környezeti sorsáról, kezelhetőségéről ismereteink még csak szórványosak, különös tekintettel a parti szűrésben szerepet játszó komplex eltávolítási mechanizmusokra (Caldwell 2006). A különös problémát és kockázatot elsősorban azok a biológiai nem, vagy csak nehezen bontható, gyakran halogenidekkel szubsztituált és gyűrűs szerkezetű szerves molekulák jelentik, amelyek ökotoxikológiai profiljukat tekintve toxikusak, karcinogének, teratogének és bioakkumulációra is hajlamosak (Hiscock és Grischek 2002, Sung és társai 2010). Ezek kiemelt figyelmet kaptak a kutatásokban, a parti szűrésű eltávolítási mechanizmusaik vizsgálatában és modellezésében (Kim és Corapcioglu 2002, Scheurer és társai 2011). Megjegyezzük azt is, hogy a parti szűrésű rendszerek valós működéséről az ismereteink korlátozottak, és a tudományos ismeretek gyakran laboratóriumi lépétekű kísérleteken alapulnak (Bertelkamp és társai 2014).

A Fővárosi Vízművek telephelyén megvalósított fél évet átölő kísérletek célja a parti szűrt víz további kezelési lehetőségének vizsgálata volt fordított ozmózissal. A fordított ozmózisos kezelés során a vízben található oldott ionok közel teljes mértékben eltávolíthatók a vízből, így azok a szennyezőanyagok is, amelyek hagyományos tech-

nológiákkal (csapadékképzés-fázisszétválasztás, adszorpció/ioncsere, stb.) nem, vagy nem elegendő hatásfokkal távolíthatók el. A fordított ozmózis alkalmazása ezért elsősorban olyan parti szűrési vizek esetén lehet elképzelhető, ahol a vízben levő mikroszennyezők részben, vagy egészben átjutnak a szűrőrétegen és más, egyszerűbb módszerekkel nem távolíthatók el a vízből, ugyanakkor jelenlétük a fogyasztók szempontjából kockázatosnak minősül. A kísérlet egyik célja volt annak igazolása, hogy az RO berendezés alkalmas a parti szűrt víz további kezelésére, az esetleg megjelenő kiemelt fontosságú szennyezők (szerves mikroszennyező anyagok) kellő hatékonyságú eltávolításával. Másodlagos célként a parti szűrési víz további RO-val történő kezelése során várható üzemeltetési nehézségek felderítését tűztük ki, amely egy hasonló alkalmazás tervezésekor informatív lehet a jövőben.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A kísérletekhez félüzemi léptékű RO berendezéssel kezeltük parti szűrési vizet miközben rendszeres vízminőségi vizsgálatokat végzünk, valamint az RO berendezés főbb üzemelési adatait is rögzítettük, további adatfeldolgozás céljaira. A kísérlet időtartama 6 hónap volt, 2018. tavaszi kezdéssel, 2108. késő őszi-téli befejezéssel. Ezzel a parti szűrésre ható környezeti tényezők évszakos változásainak hatásait vizsgálni tudtuk. A tapasztalatok szerint a kora nyári időszakban (júniusi zöldár) fordulnak elő nagyobb árvizek, valamint a kisvízes időszakok az augusztus-szeptemberi időszakban várhatók, tehát az adott évben előre jelzett hidrológiai szélsőségeket, illetve ezek hatásait is meg tapasztalhattuk. A vízminőségi vizsgálatokat heti két alkalommal végezzük, így a viszonylag rövidebb idejű vízminőségi változások hatása is észlelhető volt.

Mintavételi pontok:

1. Dunavíz
2. Kútvíz (A-akna): parti szűrt víz
3. RO berendezés kezelt vize

A három mintavételi ponttal a teljes parti szűrés, illetve mesterséges technológiai folyamat vízminőségi hatásai nyomon követhetőek voltak. Az RO berendezés működése során a nyomásértékek, valamint a vízhőmérséklet kerül rögzítésre, amelyből az RO eltömődésére lehetett következtetni. Rögzítettük a feladott és termelt víz mennyiségét, illetve a berendezés energiafelhasználását.

A kísérletet a Fővárosi Vízművek Zrt. Budaujlaki gépházának területén (Budapest, Szépvölgyi út) folytattuk le. A Budaujlaki gépház területén található az „A-akna”, amely több kút vizének gyűjtőaknája. A kapcsolódó kutak részben a Duna jobb-partján a gépház közelében helyezkednek el, részben pedig a Margit-sziget nyugati partján, ahonnan bújtatón keresztül történik a víz átvezetése az A-aknába. A vizet innen közvetlenül a hálózatba táplálják, előtte UV-berendezéssel, illetve klórgáz adagolással fertőtlenítik. A kísérlet célja miatt nyers (nem fertőtlenített) kútvízre volt szükségük, ezért a kísérlet idejére a kútba külön szivattyút telepítettünk, amely a berendezést kezeletlen, parti szűrt Duna-vízzel látta el. A kútsor Budapest szívében, szinte teljesen beépített, sűrűn lakott urbánus terü-

leten helyezkedik el. A kútsor „csúcs-vízműként” üzemel, azaz csak a nagyobb fogyasztású, nyári időszakban termel, amit a kísérlet időpontjának kiválasztásakor figyelembe kellett vennünk.

A kísérlethez alkalmazott RO berendezés a Fővárosi Vízművek által fejlesztett „CEWPU” (*Containerized Emergency Water Purification Unit*) konténerben helyezkedett el. A CEWPU konténer vészhelyzetekben történő ivóvíz előállításra lett kialakítva olyan módon, hogy gyakorlatilag bármilyen szennyezett édesvízből alkalmas legyen tiszta, egészséges ivóvíz előállítására.

A konténer több lépcsős tisztítási technológiai sort tartalmaz: biztonsági előszűrés (400 μm) \rightarrow oxidáló és koagulálószer adagolás \rightarrow flokkulátor \rightarrow ultraszűrő (~0,03 μm) \rightarrow fordított ozmózis (RO) \rightarrow pH szabályozás, visszamosás \rightarrow vízkidálás. A konténeren belül megtalálható a működéséhez szükséges összes segédüzemi berendezés, valamint egy 3 rekeszre osztott, beépített víztartállyal is rendelkezik, részben az ultraszűrt víz átmeneti tározásához, az RO-ra történő feladás előtt, részben a már kezelt ivóvíz tározására. A berendezés automatikus üzemű, a kezelő személyzet feladata az üzem ellenőrzésére és a vegyszerek feltöltésére korlátozódik. Ezért a berendezés kifejezetten alkalmas volt a hosszú távú (fél éves) folyamatos (7/24) kísérleti üzemre. A berendezés az üzemi adatokat (nyomás, térfogatáram, stb.) folyamatosan rögzíti, így a logfile-okból az üzemi adatok utólag kinyerhetőek. A CEWPU konténerben található RO berendezésre a technológia első fázisában kezelt, ultraszűrt vizet adtuk fel. Az ultraszűrt víztartályból alacsony nyomású (~3-4 bar) szivattyú szívja a vizet és továbbítja az RO felé. A nyomóoldalon történik meg a lerakódásgátló (*antiscalant*) adagolása. A vizet ezután egy 5 μm pórusméretű biztonsági szűrőn (gyertyás szűrő) vezetjük át, az RO membránok védelme érdekében. Ezt követően a nyomásfokozó szivattyúval történik a víz feladása az RO egységre. A berendezés összesen 6 db RO membránt tartalmaz, 3 db sorba kapcsolt tartályban elosztva. A megfelelő kihozatal érdekében koncentráció recirkuláció került kialakításra. A koncentráció a konténerből közvetlen kivezetésre kerül, hulladékvízként kezelve. A permeátum pH szabályozás (NaOH adagolás) és remineralizáció (CaCO₃ adagolás) után a tisztavíz tartályba kerül. Az RO berendezésben Toray TM720D-400 típusú membrán található, mely megengedett maximális üzemi nyomása 600 PSI (41 bar), de a berendezésben ez legfeljebb 12 bar nyomáson üzemelhet. Az RO térfogatárama 6,0 m³/h nyersvíz feladás, 0,5 m³/h belső recirkuláció, 75% kihozatal mellett. Az RO üzemi paramétereinek beállítása (vízfeladás, fojtás és recirkuláció) manuális szerelvényekkel történik. Az RO-ra a vízfeladás folyamatos, mivel a beépített megszakító víztartály elegendő vizet tárol ahhoz, hogy az ultraszűrő öblítése alatt se kelljen az RO-t leállítani, vagy a térfogatáramait módosítani. A berendezésben alkalmazott membránok nem újak (~3 évesek), és különböző minőségű nyersvizekkel összesen kb. 1 évet üzemeltek, amiből 6 hónapig egy menekülttábor 4000 lakója számára szolgáltatott ivóvizet.

A kísérletsorozat célja a parti szűrt víz fordított ozmózissal történő kezelési hatékonyságának vizsgálata volt. A

parti szűrt víz zavarossága elhanyagolható volt ($<0,1$ NTU) így a zavarosságát figyelembe véve az ultraszűrő ugyan üzemelt, de tényleges szűrési feladatot nem látott el.

- Oxidálószer és koagulálószer adagolás nem történt.
- A víz a flokkulátoron átvezetésre került, de vegyszeradagolás hiányában technológiai funkciót nem töltött be.
- A víz az ultraszűrőkön került előszűrésre. Az ultraszűrő öblítése kezdetben 45, később 60 percenként történt, noha ennél lényegesen ritkább öblítési gyakoriság is elegendő lett volna, de mivel a kísérletnek nem az UF vizsgálata volt a célja, ezért a berendezés védelme érdekében nem akartuk feladni a biztonságot. A felszíni víz kezelésekor rutinszerűen alkalmazott rendszeres hypós UF fertőtlenítést elhagytuk, mivel szükségtelennek ítéltük, amit a mikrobiológiai eredmények igazoltak is.
- Az RO berendezés esetében a permeátum pH szabályozását és visszaszórását költségtakarékossági okokból elhagytuk, mivel az a kísérlet értékelése szempontjából semmilyen hozzáadott értéket nem jelentett volna.

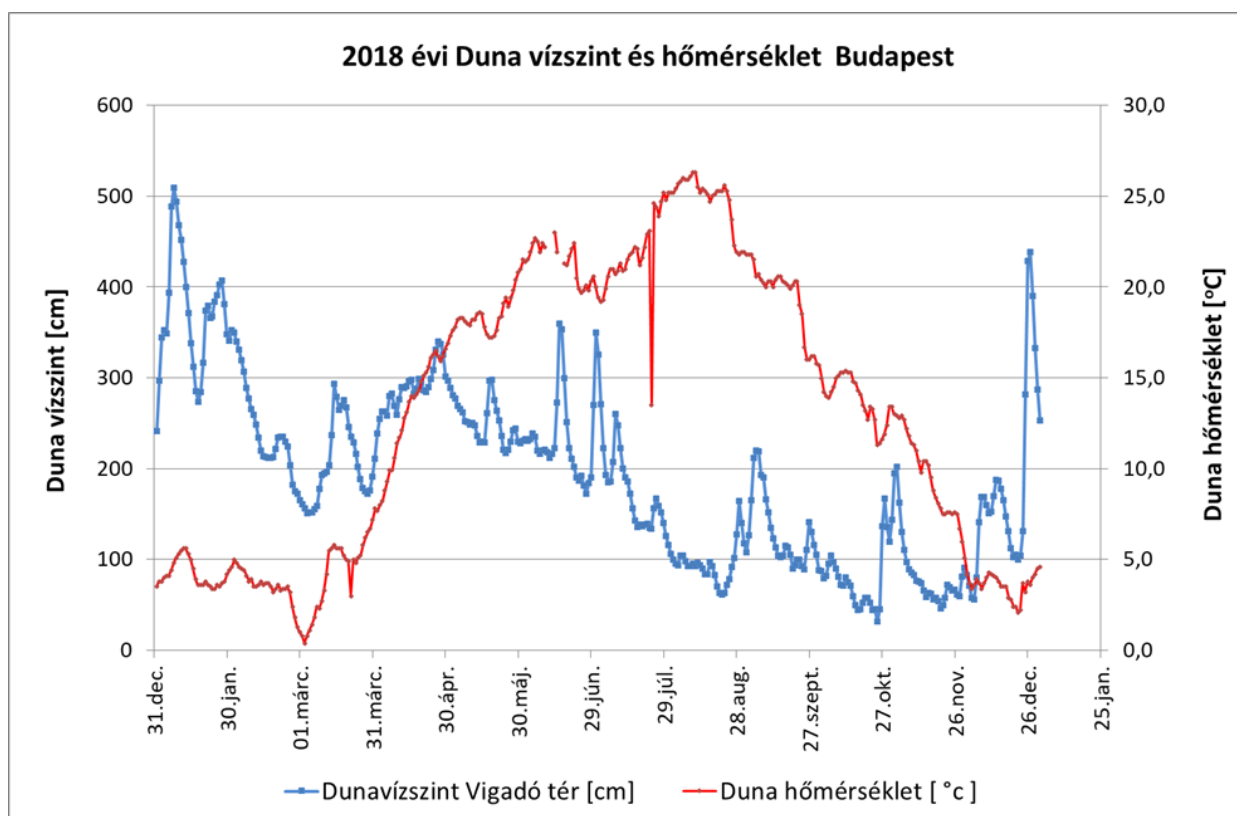
Az RO berendezés üzemét az alábbi működési paraméterekre állítottuk be:

- Nyersvíz (ultraszűrt víz) térfogatáram: $6,0 \text{ m}^3/\text{h}$
- Recirkulációs térfogatáram: $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$
- Kihozatal: $\sim 75\%$
- Antiscalant (lerakódás gátló) adagolás: Membrane DS291 50 ml/h ($8,33 \text{ ml/m}^3$).

A vízminőségi laboratóriumi vizsgálatokat a Fővárosi Vízművek Zrt. akkreditált laboratóriuma végezte el a kísérleti tervben előzetesen meghatározott mintavételi és mérési terv alapján. A kísérletek során összesen 53 alkalommal került sor laboratóriumi vizsgálatra, ami heti két mintavételi alkalmat jelentett. A vizsgált szerves mikroszennyező anyagokat, azok kimutatási határait és a felhasznált módszereket foglalja össze az 1. táblázat.

EREDMÉNYEK

A kísérletsorozat 2018. májustól 2018. decemberéig zajlott, tehát felölelte a késő tavasztól a kora téli időszakig terjedő hidrológiai periódust. A Duna víz hőmérséklet változását és az ezen időszak alatt mért víz állásokat az 1. ábra mutatja be.



1. ábra. A dunai víz állások és víz hőmérsékletek 2018-ban (Forrás: hydroinfo.hu)

Figure 1. Danube water gauge measurements and water temperature in the investigated period (Source: hydroinfo.hu)

A Duna-víz állása a vizsgált időszakban közepes/alacsony volt. A legmagasabb víz állás is mindössze néhány napra haladta meg a 300 cm -t, ami messze elmarad az árvíznek tekinthető (550 cm) víz állástól, noha május-június hónapokban ez rendszeresen bekövetkezik. Ugyanakkor az őszi időszakban tartósan kisvízi ($<120 \text{ cm}$) víz állás volt jellemző és októberben megdőlt a valaha mért legalacsonyabb víz állási re-

kord. A nyári időszakban a víz hőmérséklet tartósan $20 \text{ }^\circ\text{C}$ felett alakult és több héten keresztül meghaladta a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ -os hőmérsékletet is, ami szokatlanul melegnek számít. A vizsgált kísérleti időszak hidrológiai szempontból tehát szélsőségesnek volt tekinthető, és feltételezhető volt, hogy ez a parti szűrés szempontjából akár kedvezőtlen folyamatokat is elindíthat. Mint azt majd látjuk, ez nem következett be.

Szervetlen szennyezők, vas és mangán

A dunai mintákban az összes vas koncentrációja 55-896 $\mu\text{g/l}$, az összes mangán 7-91 $\mu\text{g/l}$ között alakult. A parti szűrt vízben összes vas koncentrációja a vizsgált minták 90 %-ában alsó méréshatár alatti (AMH) $<5 \mu\text{g/l}$ alatti volt, míg az összes mangán esetében a minták 98%-a AMH $<1 \mu\text{g/l}$ alatti volt. Az RO kezelés után az összes vas és összes mangán minden mintában kivétel nélkül a meghatározási határ alatt volt ($<AMH$).

Mikrobiológiai paraméterek

A közlemény terjedelmi korlátai miatt itt csak néhány eredmény bemutatására nyílik lehetőség. A mikrobiológiai vizsgálatok során a magyarországi jogszabályban (201/2001. Korm Rend.) által előírt 7 paraméter vizsgálatára került sor. A dunai mintákat mikrobiológiai paraméterekre a magas mikroorganizmus szám miatt nem vizsgáltuk. A partiszűrt és az RO kezelt vízben a minták 99,4%-ban a vizsgált mikroorganizmusok nem voltak jelen. Az előfordulások esetiek voltak, kis egyedszámmal jellemezhetők, és a következő mintában minden alkalommal külön beavatkozás (fertőtlenítés) nélkül is nullára csökkent a számuk. Fontos megjegyezni, hogy a kísérlet során egyáltalán nem alkalmaztunk fertőtlenítést.

Szerves mikroszennyező anyagok

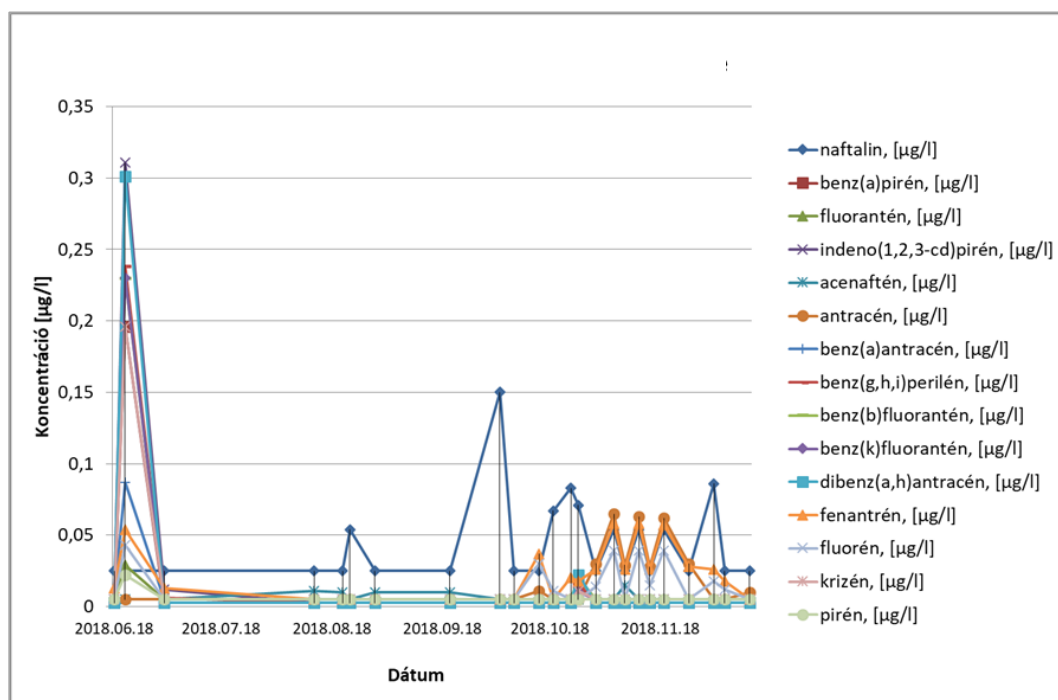
A kísérlet során vizsgált szerves mikroszennyezők közül csak a PAH vegyületek (policiklikus aromás szénhidrogének) voltak a mintákban meghatározási határ feletti koncentrációban jelen.

Peszticidek

A 2018. október 8-i Duna mintában azonosítottunk 1,2 ng/l koncentrációban 4,4'-DDE vegyületet. Az aldrin, trifluralin, hexaklór-benzol, alfa-endosulfán, endrin, gamma-HCH-lindán, 4,4'-DDD, 4,4'-DDT vegyületek minden mintában meghatározási határ alatti koncentrációban voltak jelen.

PAH vegyületek

Az acenaftilén,1-metil-naftalin, 2-metil-naftalin minden mintában a meghatározási határ alatti koncentrációban volt. A dunai mintákban (53 db) az összes PAH értéke 1 mintában (06.21.) volt $> 1 \mu\text{g/l}$, 5 mintában $0,22 \mu\text{g/l} >$ összes PAH $>0,13 \mu\text{g/l}$, a többi mintában az összes PAH $<0,10 \mu\text{g/l}$ koncentrációban volt jelen. A PAH vegyületek meghatározásának különös jelentőségét az adja, hogy ebben az időben került felszínre a szó szoros értelmében is az óbudai gázgyár területéről a Dunába szivárgó szennyezett talajvíz. A nyers Duna vízminták eredményei a 2. ábrán kerülnek bemutatásra.



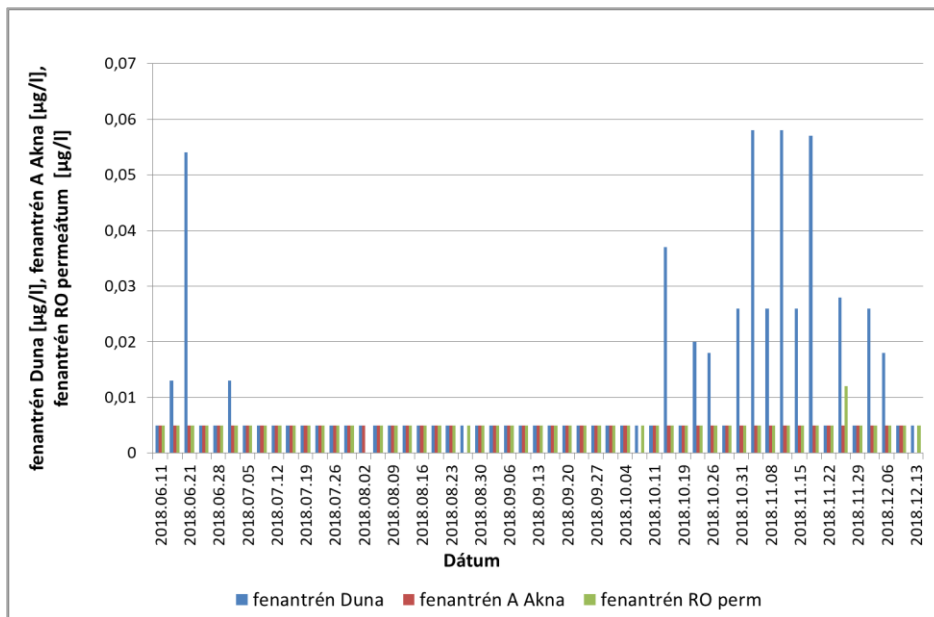
2. ábra. A dunai minták PAH szennyezettségének összefoglaló bemutatása
Figure 2. PAH contamination of the Danubian water samples

A parti szűrés biztonságát és hatékonyságát mutatja be a 3. és 4. ábra (a fenantrén és a fluorén koncentrációk tekintetében a Dunában, a parti szűrt vízben és a RO berendezést követően vett vízmintában). Ez a két komponens volt jellemzően kimutatható a Dunai vízmintákban mérési határ felett az összes PAH vegyület közül. Jól megfigyelhető, hogy a Dunában véletlenszerűen és esetleg jelentkező koncentrációcsúcsokat a parti szűrés hatékonyan „vágja le” nem is hagyva lehetőséget az RO berendezés hatásainak vizsgálatára.

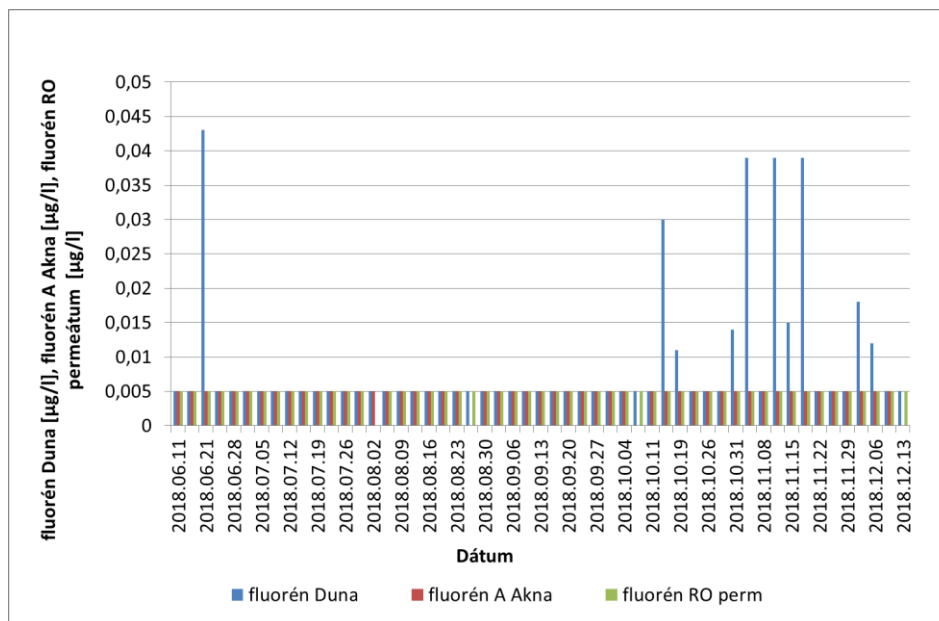
A parti szűrt vízben 2 mintában volt indeno(1,2,3-cd)pirén $<0,01 \mu\text{g/l}$ feletti koncentrációban. Az RO után 3 db mintában voltak PAH vegyületek indeno(1,2,3-cd)pirén, benz(g,h,i)perilén, dibenz(a,h)antracén és fenantrén méréshatár feletti koncentrációban. Az ivóvízre vonatkozó határérték (összes PAH $0,10 \mu\text{g/l}$) a mért vegyületek összege egyetlen vízmintában sem érte el. Ezek az eredmények azt jelzik, hogy a Duna szennyezettsége sem különösebben jelentős (legalábbis a vizsgált paraméterek tekintetében nem az), valamint a parti szűrés folyamata során a Dunában még

mérhető mennyiségben jelen levő vegyületek mennyisége zömmel mérőhatár alatti koncentrációra csökkent. Mivel az RO berendezésre feladott nyersvízben nem volt mérhető

mennyiségű szerves mikroszennyező anyag, így az RO kezelés hatékonysága ilyen szempontból nem volt érdemben értékelhető.



3. ábra. Fenantrén koncentrációk változása a Duna vízben, a parti szűrt vízben és az RO berendezés után.
Figure 3. Fenanthrene concentrations in the Danube water, in the riverbank filtrate and downstream of RO



4. ábra. Fluorén koncentrációk változása a Duna vízben, a parti szűrt vízben és az RO berendezés után.
Figure 4. Fluorene concentrations in the Danube water, in the riverbank filtrate and downstream of RO

Az RO üzemeltetésével kapcsolatos eredmények között megemlíthetjük, hogy a fajlagos energiaigény a berendezés egészére vonatkoztatva 0,90 -1,38 kW/m³ között ingadozott, a napi átlagos érték 1,16 kW/m³-re adódott. Ez az érték magában foglalja a teljes technológia energiaigényét: vízkivétel (~2 m emelőmagasság), biztonsági szűrés, flokkulátor üzemeltetés, ultraszűrő, fordított ozmózis, a vízkidás (1,0-1,2 bar nyomáson), valamint az összes segédüzem energiaigényét is. Az energiaigény változásait a szakaszosan működő eszközök energiafelvételei okozzák: flokkulátor- és ultraszűrő öblítő gépészet, szakaszos ivóvízkidás, pneumatikus zárok működtető-levegőjét előál-

lító kompresszor. Az RO-val kezelt víz fajlagos elektromos vezetőképessége 5-15 µS/cm között változott a kísérlet időtartama alatt, az on-line mérési eredmények alapján. Ez egyben az RO membrán hatékony működését és megfelelő integritását jelzi. Ugyanakkor éppen a víz alacsony sótartalma miatt emberi fogyasztásra nem alkalmas, vízszasosítása elengedhetetlen. Az RO-val kezelt víz pH-ja 5,6-6,1 között változott az on-line mérési eredmények alapján, közvetlenül az RO membrán után mérve. Gyakorlati tapasztalatunk szerint (mivel az RO-val kezelt víznek gyakorlatilag nincs pufferkapacitása), szabad levegőn a víz pH-ja a szén-dioxid beoldódás miatt tovább csökken-

het. A hálózatba táplálás és fogyasztás előtt ezért a pH-t szabályozni kell és feltétlenül szükséges a pufferkapacitást biztosító anyag (pl. HCO_3^-) adagolása is.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kísérlet helyszínén a parti szűrés hatékonyan működött, így a Dunában alkalomszerűen előforduló szerves mikroszennyező anyagok koncentrációja a kezelendő kút-vízben mérés határ alá csökkent, így az RO berendezés eltávolítási hatékonysága nem volt vizsgálható.

A fordított ozmózis vízkezeléssel (az alkalmazott membrán típusától, illetve a berendezés konfigurációjától függően) elméletileg a vízben található összes oldott anyag eltávolítható, ideértve a szerves mikroszennyezőket is. Ebből következően amennyiben a parti szűréssel termelhető víz minősége nem megfelelő, akkor további műszaki beavatkozásokkal, vízkezelési eljárásokkal – végső soron akár fordított ozmózissal állítható elő a megfelelő, szabvány minőségű (ivó)víz.

A fordított ozmózis vízkezelés költséges mind a beruházási, mind pedig a működtetési költség szempontjából. Fajlagos energiaigénye jelentősen meghaladja az általánosan alkalmazott „hagyományos”, vagy más membrántechnikán alapuló (pl. ultraszűrés) vízkezelési eljárásokat, továbbá az RO alkalmazása előtti technológiai sorban is nagy valószínűséggel valamely előkezelésre (biztonsági előszűrésre) van szükség a membránok védelme érdekében. Az RO kezelés vízvesztése jelentős, még édesvízi alkalmazás esetén is 15-30% vízvesztéssel számolni kell. A keletkező koncentrátum (vízkezelési hulladék) elvezetéséről, kezeléséről gondoskodni kell, a helyi körülmények és hatályos jogszabályok figyelembevételével. Az RO kezelés vegyszerigénye jelentős: a kezelendő víz összetételétől és a berendezés üzemi paramétereitől függően lerakódásgátló (*antiscalant*) folyamatos adagolása szükséges, a membránokat időszakosan vegyszeresen tisztítani kell, rendszerint speciális membrántisztító vegyszerekkel.

A legnagyobb vegyszerfogyasztást az RO-val kezelt víz emberi fogyasztásra való alkalmassá tétele okozza. Az RO permeátum pH-ja rendszerint alacsonyabb, mint az ivóvíz szabványokban előírt pH 6,5 érték, valamint a kezelés során nemcsak a szennyezőanyagok, hanem az összes többi esszenciális kation, anion és vegyület is eltávolításra kerül, amelyek pótlása elengedhetetlen, melyre több műszaki megoldás is létezik. A pH-szabályozott, visszasózott víz már hálózatba táplálható és fogyasztható, de élvezeti értéke elmarad a természetes összetételű vizekétől.

Összességében a fordított ozmózis vízkezelés alkalmazása a parti szűrt víz kezelésére csak rendkívül indokolt esetekben ajánlható, amennyiben más technológiával már nem biztosítható a megfelelő vízminőség.

A kísérleti eredmények alapján egyértelműen megállapítható volt, hogy a fővárosban működtetett parti szűrésű rendszerek alkalmasak a dunai vizekben óhatatlanul jelentkező szerves mikroszennyező anyagok széles skálájának kezelésére, eltávolítására. Ennek különös jelentőséget ad a felső vízgyűjtő erősen iparosodott jellege, népsűrűsége és területhasználati módjai. Ezek a közép- és hosszú távon

nem, vagy csak igen lassan fognak változni, így a természetes folyamatokon (parti szűrés) alapuló vízkezelő művek, kiegészítve az adott körülmények között legmegfelelőbb műszaki megoldással kell biztosítani a biztonságos ivóvízellátást. Ennek megteremtéséhez szolgált adalékokkal és műszaki mérési eredményekkel a jelen közlemény.

ÖSSZEFOGLALÁS

Valamennyi a természetes folyamatokon alapuló vízgazdálkodási rendszernek, legyen az ipari hűtővíz kivétel, melegvíz bevezetés, ivóvíz előállítás parti szűrésű rendszerekkel, vagy szennyvízkezelés mesterséges *wetland*-ek alkalmazásával közös dilemmája, hogy a kezelt, tisztított víznek állandóan szabvány minőségűnek kell lennie, miközben a hidrológiai rendszerek természetükből adódóan sztochasztikusan viselkednek. Esetünkben függetlenül attól, hogy milyenek a dunai vízállások, milyen szennyezőanyag hullámok vonulnak le a főváros térségében biztosítani kell a főváros lakosságának és iparának az igényelt mennyiségű és jogszabályban megszabott minőségű vizet. Ez a dilemma már okozott problémákat az elmúlt évszázad folyamán, melyeket a Fővárosi Vízművek sikeresen megoldott. A jelen kihívásai azonban másfélék, mint amelyekkel a történelemben korábban szembe néztünk.

Az itt bemutatott tudományos kutatási eredmények az EU HORIZON 2020 AquaNES (Natural and Engineered Systems) projekt keretében születtek meg. A projekt célja a természetes víztisztítási folyamatok (parti szűrés) és a mesterséges, műszaki víztisztító rendszerek összekapcsolási lehetőségének, esetenként kényszerének vizsgálata volt.

A jövőben várható társadalmi és klimatikus változások alapján a vízbiztonsággal szemben támasztott elvárások egyre komolyabb kihívásokat tartogatnak. A bemutatott termelőterületen a csökkenő átlagos vízszintek és az egyre gyakrabban előforduló és súlyosbodó alacsony Dunai vízállások a szennyeződések egyre komolyabb veszélyeit prognosztizálják. Mint felelős vízi közmű vállalat, ezen kihívásokra is megoldást keresve valósult meg a projekt. Fontos leszögezni, hogy a Dunai vízminiták európai és világviszonylatban is kiemelkedően jó minőségűek, ezért valós veszély a Fővárosi Vízművek termelő területein nem áll fenn. Azonban jellemzően a távol keleti régiókban a hazai szennyezőanyagok koncentrációinak több nagyságrenddel magasabb értékeit mérjük. Ezen esetekben már szükséges lehet a természetes és mesterséges technológiai rendszerek együttes alkalmazása.

Valós helyzetben, hosszabb időtávon, extrém hidrológiai körülmények között vizsgáltuk a parti szűrés víztisztítási hatékonyságát a PAH és peszticid vegyületcsoportokra nézve, azzal a céllal, hogy megállapítsuk azt, hogy a fővárosi rendszerek esetében szükség van-e bármely magas technológiai szintet képviselő, komplementer műszaki megoldásra (pl. az RO rendszerre). A vizsgált forgatókönyvek mellett (vízállás, vízhőmérséklet, stb.) a válasz egyértelműen: nem. A fővárosi hidrogeológiai, hidraulikai és üzemelési viszonyok mellett a parti szűrés képes a PAH, a különböző peszticid vegyületcsoportok, a mikrobiológiai szennyezések, a vas és mangán hatékony eltávolítására, nincs szükség további kiegészítő műszaki megoldások

igénybe vételére. Hogy ez a helyzet meddig tartható fenn, arra a jövőben folytatott monitoring tevékenység és az abból fakadó prediktív modellek adhatnak megbízható választ. A

jövőre fel kell készülni, a jövőbeni kiegészítő műszaki megoldások rendelkezésre állnak, azonban ahogyan mondani szokták: „amíg valami jól működik, azon ne változtass”.

1. táblázat. A kísérletek során alkalmazott vízminőségi analitikai módszerek

Table 1. Water chemistry and microbiological methods applied during the experimental period

Vizsgált paraméterek	Vizsgálat típus	Vizsgálati módszer azonosítója	Alsó méréshatár	Mértékegység	Mérési bizonytalanság
mangán	Induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria, ICP-OES	MSZ 1484-3:2006 5. fejezet	1	µg/l	±10%
vas			5	µg/l	±10%
4,4'-DDT	Peszticidok (szilárd fázisú extrakció, gázkromatográfia, tömegspektrometria, GC-MS (SIM))	EPA Method 525.2 Revision 2.0:1995	0,5	ng/l	±25%
4,4'-DDE			0,5	ng/l	±25%
4,4'-DDD			0,5	ng/l	±25%
trifluralin			2	ng/l	±25%
endrin			2	ng/l	±25%
gamma-HCH (lindán)			5	ng/l	±25%
hexaklór-benzol			5	ng/l	±25%
alfa-endosulfán			10	ng/l	±25%
beta-endosulfán			10	ng/l	±25%
aldrin			2	ng/l	±25%
benz(a)pirén			Policiklikus aromás szénhidrogének (extrakció, gázkromatográfia, tömegspektrometria, GC-MS (SIM))	MSZ 1484-6:2003, EPA Method 525.2 Revision 2.0:1995	0,005
benz(e)pirén	0,005	µg/l			±25%
indeno(1,2,3-cd)pirén	0,005	µg/l			±25%
dibenz(a,h)antracén	0,005	µg/l			±25%
benz(g,h,i)perilén	0,005	µg/l			±25%
1-metil-naftalin	0,05	µg/l			±25%
2-metil-naftalin	0,05	µg/l			±25%
acenaftén	0,01	µg/l			±25%
acenaftilén	0,05	µg/l			±25%
antracén	0,01	µg/l			±25%
benz(a)antracén	0,01	µg/l			±25%
benz(b)fluorantén	0,01	µg/l			±25%
benz(k)fluorantén	0,01	µg/l			±25%
fenantrén	0,01	µg/l			±25%
fluorantén	0,01	µg/l			±25%
fluorén	0,01	µg/l			±25%
krizén	0,01	µg/l			±25%
naftalin	0,05	µg/l			±25%
pirén	0,01	µg/l			±25%
Coliformszám	Tenyésztéses bakteriológiai vizsgálat, membrán-szűrési módszer	MSZ EN ISO 9308-1:2015			db/250ml -
<i>Escherichia coli</i> szám					
Enterococcusok száma		MSZ EN ISO 7899-2:2000	-		-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> szám		MSZ EN ISO 16266:2008	-	db/250ml	-
Coliform szám		MSZ 13690-2:1989 7.6.szakasz (visszavont szabvány)	-	db/250ml	-
<i>Clostridium perfringens</i> szám (spórákkal együtt)	MSZ EN ISO 14189:2017	-	db/250ml	-	
Telepszám 22 és/vagy 37 °C-on	Tenyésztéses bakteriológiai vizsgálat, lemezöntési módszer	MSZ EN ISO 6222:2000	-	db/ml-	-

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönettel tartoznak a projekt finanszírozásában közreműködő szervezetnek (Európai Unió HORIZON 2020 kutatás és fejlesztési program, 689450 támogatási számú AquaNES projekt). A projekt összes finanszírozása 7,8 millió euró volt.

IRODALOMJEGYZÉK

Bertelkamp C., Reungoat J., Cornelissen E.R., Singhal N., Reynisson J., Cabo A.J., van der Hoek J.P. és Verliëde A.R.D. (2014). Sorption and biodegradation of organic micropollutants during river bank filtration: A laboratory column study. *Water Research* 52, 231-241.

Caldwell, T. G. (2006). Presentation of data for factors significant to yield from several riverbank filtration systems in the U.S. and Europe, In: Hubbs S.A. (Ed.): *Riverbank Filtration Hydrology – Impacts on System Capacity and Water Quality*, Springer, Dordrecht, pp. 299-344.

Davidesz J., Debreczeny L. (2009). Partiszűrűsű vízbázisok hosszú távú fenntarthatósága, rendelkezésre állás és kapacitások szempontjából, MAVÍZ Konferencia, Sopron, 2009.

Hiscock K.M. Grischek T. (2002). Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. *J. of Hydrology*, 266. 139-144.

ICPDR (2002). Joint Danube Survey. Technical Report of the International Commission for the Protection of the Danube River (Eds.: Literáthy, P; Koller-Kreimel, V.; Liska, I.). Vienna, Austria.

ICPDR (2005). <http://www.icpdr.org/main/resources/map-5-significant-point-sources-pollution> .

ICPDR (2008). Joint Danube Survey 2. – Final Scientific Report, (Eds.: Liska, I.; Wagner, F., Slobodnik, J.). Vienna, Austria.

JDS3 (2014). Joint Danube Survey 3. Quantity and Quality of Dissolved Organic Matter Date: 29. 10. 2014. Version I. ICPDR.

(http://www.danubesurvey.org/jds3/jds3-files/nodes/documents/quantity_and_quality_of_dom.pdf) és Chapter (Full Report on: General physico-chemical determinands and nutrients. Date: August 2014 Version 2. (http://www.danubesurvey.org/jds3/jds3-files/nodes/documents/general_phys_chem.pdf).

Kim, S.B.; Corapcioglu, M.Y. (2002). Contaminant transport in riverbank filtration in the presence of dissolved organic matter and bacteria: a kinetic approach, *Journal of Hydrology*, pp. 266, 269-283.

László F. (2003). The Hungarian experience with riverbank filtration, In *Proc. 2nd International Riverbank Filtration Conference, Riverbank Filtration: The Future Is NOW!* Melin, G., Ed., Cincinnati, Ohio, USA, September 16-19. 2003. National Water Research Institute (VITUKI)

Scheurer, M., Storck, F.R., Graf, C., Brauch, H.-J., Ruck, W., Lev, O. és Lange, F.T. (2011). Correlation of six anthropogenic markers in wastewater, surface water, bank filtrate, and soil aquifer treatment. *Journal of Environmental Monitoring* 13(4) pp. 966-973.

Schubert, J. (2006). Significance of hydrologic aspects on RBF performance, In: Hubbs S.A. (ed.) *Riverbank Filtration Hydrology – Impacts on System Capacity and Water Quality*. Springer, Dordrecht, pp. 1-20.

Sung K.M., Ameda E., Sharma S.K., Grützmaier G. és Amy G.L. (2010). Organic micropollutant removal from wastewater effluent-impacted drinking water sources during bank filtration and artificial recharge. *Water Research* 44. Issue 14. 4003-4014.

A SZERZŐK



NAGY-KOVÁCS ZSUZSANNA 2006-ban végzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vegyészmérnöki karán okleveles biomérnöként. Ezt követően a Fővárosi Vízművek Zrt. Víztermelési osztályán helyezkedett el. Munkája során részt vesz az ivóvíz-biztonsági munkacsoport támogatásában, a vízbiztonsági terv felülvizsgálatában és különböző hazai és nemzetközi projektek szakmai koordinációjában. Jelenleg az Óbudai Egyetem doktorandusz hallgatója, 2018-ban három tudományos cikke jelent meg a *Water* szaklapban. Érdeklődési köre a vízminőség kémiai, mikrobiológiai változásaira, a parti szűrés folyamataira, valamint a klímaváltozás hatásának vizsgálatára terjed ki első sorban. Tárgyalási szinten beszél angol és francia nyelven.

FLEIT ERNŐ 1981-ben szerzett okl. biológus diplomát az ELTE TTK-n. Ezt követően a VITUKI Vízminőségvédelmi Intézetében dolgozott szennyvíztechnológiai és ökotoxikológiai kutatóként. 1985-ben Hollandiában (Delft, IHE) szerzett környezetmérnöki posztgraduális fokozatot, majd 1989-ben egyetemi doktori címet a debreceni Kossuth Lajos Tudomány Egyetemen. 1990-1992 között posztdoktorális kutatóként dolgozott a kanadai McMaster Egyetemen. Hazatérését követően a VITUKI-ban volt tudományos munkatárs, fő szakterülete az ökotoxikológia és a fejlett szennyvízkezelési módszerek fejlesztése. 2001-től 2013-ig egyetemi docensként a BME Víziközmű Tanszékének oktatója volt. 2013 őszétől 2017 februárjáig a bajai Eötvös József Főiskola általános rektorhelyettese. Ezt követően több hazai K+F projektben szakértő, illetve vezető kutató. Dr. Fleit Ernő 2018-ban csatlakozott a Fővárosi Vízművek projektteamjéhez. Feladata az Európai Unió és a hazai K+F projektek megvalósítása, szakmai koordinációja.

LÁSZLÓ BALÁZS 1998-ban szerzett okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök diplomát. 1998-2010 között az MTA vízgazdálkodási kutatócsoportjában, majd a BME Víziközmű és Környezetmérnöki tanszékén dolgozott, ahol K+F projektekben vett részt. 2010 óta a Fővárosi Vízművek víztermelési osztályán dolgozik víztechnológusként. Feladatai között szerepel a FV konténeres víz-tisztító technológiáinak fejlesztése, beüzemelése, továbbá különböző K+F projektekben vesz részt.

MÁRTONNÉ CZIHAT KATALIN 1988-ban szerzett diplomát a BME Vegyészmérnöki Kar szerves és biológiai vegyipari szakán. 1976 és 1988 közt a Csepel Autógyár szennyvíz-laboratóriumának szakmai irányítását, később a vállalat környezetvédelmi és vízgazdálkodói feladatait látta el. A Fővárosi Vízművek Zrt-nél 1988 óta dolgozik, 1994-ig a ráckevei vízkezelőmű technológiai laboratóriumának csoportvezetője, majd közreműködik a csepeli vízkezelőmű technológiájának beüzemelésében, a próbaüzemi vízminőség ellenőrzését célzó vizsgálatok tervezésében, kivitelezésében, majd 2009-ig a csepeli kémiai laboratórium vezetője. Jelenleg a Vízminőségi és Környezetvédelmi Osztály központi kémia laboratórium csoportvezetője. Feladatai a laboratórium munkájának irányítása, gondoskodik a megfelelő szakmai, műszaki és környezeti feltételek fenntartásáról, részt vesz a szükségvizéllátást biztosító mobil víztisztítók megfelelő működésének ellenőrzésében, közreműködik az FV Zrt. több K+F projektjének megvalósításában. 2016-ban MAVÍZ „Elismerő Oklevél” kitüntetést kapott a víziközmű-ágazatban végzett, több mint 15 éves kiemelkedő szakmai irányítói, gyakorlati végrehajtói feladatok ellátásáért.

Hogyan lehet előfizetni a Hidrológiai Közlönyt?

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 2019-ben:

Cégeknek:

A 2019. évi (99. évfolyam) 1-4. száma: 9600 Ft/év

A különszám cégeknek (Hidrobiológus Napok kiadványa): 2400 Ft/év.

A Magyar Hidrológiai Társaság egyéni tagjainak:

A 2019. évi (99. 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

2019. évi 1-4. számait példányban,

2019. évi különszámát példányban,

és kérem megrendelésemet a következő évekre is folyamatosnak tekinteni.

Név vagy cégnév:

Céges megrendelés esetén kapcsolattartó neve:

Telefonszáma:

E-mail-címe:

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: , 2019. hó. nap.

CALTROPe – Innovatív partvédő mű áramlástani vizsgálata szimulációs eljárásokkal

Grivalszki Péter

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3.
(E-mail: grivalszki.peter@epito.bme.hu)

Kivonat

Globális probléma napjainkban a folyamok hordalékszegénysége, melynek oka többek között a vízlépcsők létesítése. A duzzasztók felvízi oldalán lelassul az áramlás, a természetes hordalék kiülepszik, az alvíz ezáltal hordalékszegény. Ennek egyik következménye a deltavidékek fokozódó erodálódása. A jelenséghez hozzájárul a klímaváltozás okozta tengerszintemelkedés is, mely során az értékes tengerparti területek fokozatosan víz alá kerülnek.

A CALTROPe-projekt, egy speciális, háromágú beton idom alkalmazását jelenti a fenti problémával érintett területeken, kiváltképp a trópusi folyamokon. Különlegessége, hogy a betonelemekbe mangrove facsemetéket ültetnének, amelyek fejlődésük során egyre hatékonyabb védelmi vonalat alkotnának, és fokozatosan beépülnének a környezetbe. Az így létrejövő kvázi-természetes gátrendszer a várakozások szerint kiváló hordalékfogó védvonalat alkot, mely alkalmazkodna a természetben zajló változásokhoz és segítené a védett területek hordalékkal való feltöltését.

Munkánk során háromdimenziós (3D) numerikus szimulációs eljárásokkal vizsgáltuk a komplex geometriájú CALTROPe-idom körüli lokális áramlási viszonyokat áramló és hullámzó scenáriók esetén. Vizsgálatainkat érzékenységvizsgálatnak is alávetettük és fizikai kisminta-kísérlettel igazoltuk. Az eredmények fényében kétdimenziós (2D) leképzési lehetőségeket vetettünk fel, mely által az idomegyüttes alkalmazhatóságára irányuló vizsgálatok a csökkenő számítási igény végett kiterjeszhetőek nagyobb – folyótorkolat léptékű – területekre. Fontos célunk megállapítani, hogy az idom alkalmas-e a Mekong vidékére irányuló tesztalkalmazásra, ugyanis korábbi műszaki elgondolások szerint a vidék tökéletes választás gazdag mangrove mocsarai, jó hordalékhozamú vize és védendő mezőgazdasági zónái miatt.

Kulcsszavak

CALTROPe, hordalék, partvédelem, modellezés, 2D, 3D, CFD.

CALTROPe – Hydrodynamic analysis of an innovative shore protection system with simulation methods

Abstract

Lack of sediment is a global problem nowadays, which caused mostly by building of dams. The flow is slowing down on their upstream side, natural sediment is settling and the downstream is going to be sediment-poor. One of the consequences is the gradual erosion of deltas. Furthermore, sea level rising caused by climate change also have the impact on the phenomenon, because valuable coastal areas are slowly going to be submerged.

The CALTROPe-project is generally the application of special trifurcate concrete idoms at areas with problems mentioned above, especially rivers of the tropics. Its specialities are the mangrove saplings planted in the concrete idoms, and in parallel with their growth, the defense line will be more effective, and environmentally friendly. This quasi-natural shore protection system is going to be an excellent sediment-trap line in the future, it can adapt environment changes, and help the sedimentation of protected areas.

Three-dimensional (3D) numerical simulations were made for analyze local flow conditions in laminar and wavy scenarios. The model was refined by sensitivity analysis, and validated by physical scale-model. According to the results, two-dimensional (2D) considerations were drafted, by which we can extend our applicability tests to larger – delta sized – areas, because of the decreasing computing demands. A major goal is to validate the applicability of the idom in the Mekong-delta, because former technical statements were made in it, according to the region's rich mangrove swamps, fine sediment-load and agricultural zones to protect.

Keywords

CALTROPe, sediment, shore protection, modelling, 2D, 3D, CFD.

BEVEZETÉS

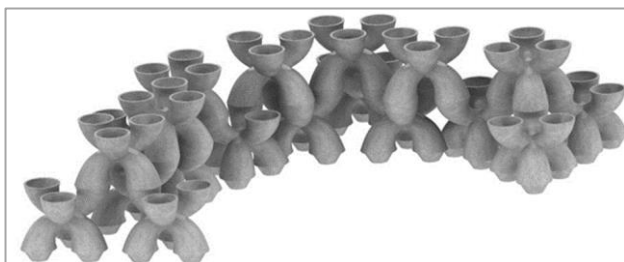
Napjainkban a klímaváltozás nemcsak a mindennapok közéleti témája, hanem komoly világpolitikai viták tárgya is. A világ szakembereinek többsége egyetért a jelenség létezésével kapcsolatban, kérdőjeleket főleg az okai és a következményei tesznek. Egy lehetséges ilyen következmény a tengerszintek emelkedése. Akár néhány centiméter emelkedés esetén is komoly válsághelyzet alakulhat ki, hiszen a világtengerek partvidéke vagy sűrűn lakott, vagy mezőgazdasági terület. Ezek víz alá kerülése komoly pénzügyi, mezőgazdasági és migrációs válságot indukálhat (*Intergovernmental Panel on Climate Change 2014*).

Egy másik jelentős probléma a bővízü folyamaink belépcsőzése, melynek során azok idő előtt rakják le hordalékukat a duzzasztók felvízi oldalán, az alvíz ezáltal egyre hordalékszegényebb lesz. Ez a hordalék azonban nem csak a vízi ökoszisztémák életterének alkotóeleme, de a deltatorlatok építőeleme is. A szigetcsoporthozások, melyeket az ár-ápany jelenség és egyéb hidraulikai jelenségek ostromolnak, az érkező hordalékból épülnének újra. Ennek hiányában az értékes deltavidékek erodációja egyre gyorsabb.

Az S39' Hybrid Design Manufacture által megálmodott CALTROPe névre keresztelt projekt a vízi építészet francia mesteréről elkeresztelt Jacques Rougerie Alapítvány pályázatának „Tengerszint-emelkedés és Építészeti”

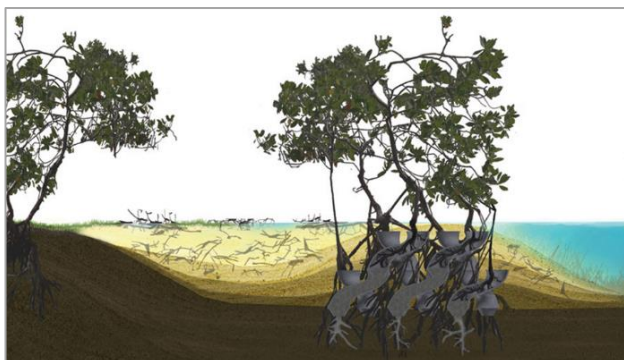
kategóriájában hozta el a 10 ezer eurós fődíjat. A terv a globális felmelegedés okozta vízszintemelkedéssel járó területvesztés problémájára kereste a választ, elsősorban a veszélyeztetett folyótorkolatokra koncentrálna.

Tengerparti hullámtörő céllal gyakran alkalmaznak óriási sziklákat, vagy komplex geometriájú betonidomokat. A CALTROPe idom maga is egy összetett geometriájú beton mű, melyben három üreges ág csavarodik egybe. Az 1 m magas, 1,662 m széles idomok hálózat-szerűen össze is kapcsolhatók (1. ábra). Az üregesség célja, hogy az idomok belsejébe mangrovecsemeteket lehessen ültetni. Már maga az idom is számottevő hordalékot tud megfogni, a mangrove pedig erre a tulajdonságra erősít rá. Ily módon egy természetközeli hordalékcsapdát kapunk, amely őrzi a deltavidék geometriáját (akár bővíti is azt), továbbá védelmet nyújt a kisebb mértékű tengerszint-emelkedés ellen. A már elárasztott tengerparti vidékeken is alkalmazható lenne a modul, egymásra építhetőségének köszönhetően. A mangrove ráadásul igen erős: teljes kifejlődése után egymagában – az idom nélkül is életképes, természetes védvonalat tud alkotni. Ennél fogva úgy tervezendő a betonösszetétel, hogy a mangrovecsemete életképessé válásával nagyjából egy időben elbomoljon, hiszen az után már csak szennyezőként funkcionálna. Ez természetes gyengítőanyagokkal kivitelezhető, mint például háztáji állatok trágyája. Az idom még sosem épült meg tervezett, (M=1:1) méretében, de a funkcionálásáról való elképzeléseket látványosan szemlélteti a 2. ábra.



1. ábra. Összekapcsolt CALTROPe idomok
(forrás: <http://s39.hu>)

Figure 1. Connected CALTROPe structures
(source: <http://s39.hu>)



2. ábra. CALTROPe idomok kifejlett mangrovéval, és a területfeltöltődés szemléltetése – látványterv (forrás: <http://s39.hu>)

Figure 2. CALTROPe structures with grown mangrove and the illustration of sedimentation - visualization (source: <http://s39.hu>)

Jelen cikkben a következő kérdésekre kerestük a választ:

I. Maga az alkalmazott szoftver és a számítási módszerek alkalmasak-e hidrodinamikai vizsgálatok elvégzésére egy ilyen összetett idom esetén, és ha igen, milyen pontos eredményt várhatunk el tőle? Lehetséges-e becslést tenni az idom körül kialakuló mederváltozásra átlagos irodai hardver-kapacitással elfogadható számítási időigény mellett? Alkalmazható-e mindezek alapján a modell az idomot érő hidrodinamikai terhelések számszerű értékelésére, amivel a mű stabilitását vizsgálhatjuk, vagy a terepen való telepítési módjait elemezhetjük?

II. Általánosan ismert, hogy a 3D szimulációk számításiidő-igénye, részletes modell felbontás mellett rendkívül magas lehet. A CALTROPe azonban egy óriási területet lefedő, hálózat-szerűen telepítendő környezeti modul, ilyenformán pedig nagy számítási igényt támasztana egy részletes modell elé, figyelembe véve egy pl. több tíz km hosszú parti sáv vizsgálatát. Ilyen térléptékű szimulációkhoz célszerűen 2D modellvizsgálatokat végeznénk, de kérdés, hogy miként lehet megfelelően figyelembe venni a komplex geometriájú betonelemek hatását egy ilyen nagyléptékű modellben. A részletes 3D vizsgálatok erre a kérdésre is választ adnak majd.

III. Milyen további építőmérnöki feladatokat állít a jövőbeni 2D futtatások tökéletesítése?

Munkánk során megvizsgáltunk egy kisebb idomrendszer környezetében kialakuló áramlási viszonyokat többféle áramlástanai szituációban és különböző áramlási peremfeltételek mellett. Ezzel jövőbeli kutatásokat alapozunk meg arra vonatkozóan, hogy milyen hidrodinamikai és medermorfológiai jelenségek alakulnak ki hullámszás esetén, illetve hogyan változna az áramlások hatására a művek körüli meder alakja, kialakulnak-e káros, lokális kimélyülések, amelyek a szerkezet stabilitását veszélyeztetik. A modellvizsgálatok eredményét kiértékeljük, majd javaslatot tettünk alkalmazásra, fejlesztésre, esetleges további vizsgálatokra. Ez után a rendelkezésre álló geometriai és hidrológiai adatok ismeretében egy durva felbontású, torkolatléptékű 2D modellt építettünk azzal a céllal, hogy megalapozzuk a jövőbeni 2D kutatásokat, javaslatokat tehesünk a komplex geometria figyelembevételére és kezdeti tapasztalatokat szerezzünk a CALTROPe jövőbeni 2D szimulációihoz.

A 3D áramlástanai szimulációk (Computational Fluid Dynamics – CFD) manapság nem számítanak újkeletűnek. A legnépszerűbb szoftverek (ANSYS Fluent (ANSYS 2019), OpenFOAM (OpenCFD 2018), SSIIM (Olsen N. R. B. 2018), Flow-3D (Flow Science 2018), Star-CCM+ (SIEMENS 2017)) egyre stabilabb és pontosabb szimulációkat tesznek lehetővé. Ezek a modellek alkalmasak lehetnek például hídpillérek körül kialakuló turbulens áramlások, valamint az áramlás okozta helyi kimélyülések számszerűsítésére (Baranya és társai 2012, 2013), vagy különböző vízepítési műtárgyak körüli összetett áramlások vizsgálatára (Fleit és társai 2017, Kamath és társai 2019). A valós környezetben való alkalmazás sem újkeletű. Sikeresen alkalmaztak már CFD modelleket folyók találkozásánál kialakuló áramlások vizsgálatára (Baranya és társai 2010),

illetve élőhelyi szempontú analízis is készült, melynek során a hajók keltette hullámzás hatását vizsgálták a litorális zónában (Fleit és társai 2015, Fleit és társai 2016).

A 3D NUMERIKUS MODELL

Jelen tanulmányban a REEF3D nevű programot használtuk a CALTROPE idomok körül kialakuló áramlási viszonyok vizsgálatára, mely egy, a Norvég Műszaki Egyetem

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \cdot \left[(\nu + \nu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + g_i \quad (2)$$

melyekben: u_i az időátlagolt áramlási sebesség, x a Descartes-koordináta, t az idő, ρ a sűrűség, p a hidrosztatikai nyomás, ν a kinematikai viszkozitás, ν_t a turbulens örvényviszkozitás, g pedig a gravitációs gyorsulás. Az alsóindexként szereplő i és j betűk a Descartes-féle vektor-komponenseket jelölik. A j -t tartalmazó tagok impliciten összegződnek $j=1\dots 3$ -ig. A térbeli diszkretizáció egy ötdrendűen pontos Weighted Essentially Non-Oscillatory (WENO) sémával történik, mely nagy numerikus pontosságot és robusztusságot biztosít (Liu és társai 1994). Az időbeli diszkretizáció másodrendű Total Variation

$$\phi(\vec{x}, t) \begin{cases} > 0, \text{ ha } \vec{x} \in \text{levegő} \\ = 0, \text{ ha } \vec{x} \in \text{szabad felszín} \\ < 0, \text{ ha } \vec{x} \in \text{víz} \end{cases} \quad (3)$$

A turbulencia hatásának figyelembevétele és hatásának becslése a széleskörűen alkalmazott standard k - ω modellel (Wilcox 1994) történt. A számítások során az időlépést a Courant-Friedrich-Levy (CFL) (Courant és társai 1967) stabilitási feltételnek megfelelően, adaptív módon választja meg a megoldó algoritmus.

A számítási hálóra való érzékenység vizsgálatát négy különböző (25, 50, 100 és 125 mm-es) rácshálófelbontással végeztük el. A befogadó geometria $9,0 \times 3,0 \times 1,5$ m (hosszúság*szélesség*mélység) méretű téglatest-csatorna, melyben az érzékenységvizsgálat az egyes változatok esetén rendre 2600, 342, 48 és 21 ezer cellát jelentett egyetlen CALTROPE idom körül. Az 50 mm-nél részletesebb rácshálófelbontás már nem adott számottevő változást az áramkép esetén, ezért ezt választottuk a jövőbeli számításaink felbontásának.

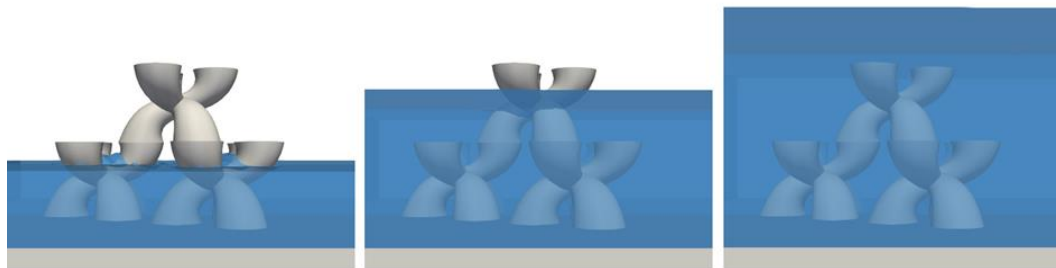
A 3D modell validálásához kisminta léptékű vizsgálatokat végeztünk. Egy 50 cm széles üvegcsatornában helyeztük el egy CALTROPE idom 1:10 méretarányú (10 cm magas), 3D nyomtatóval készült másolatát. A csatornában 5 l/s vízhozam lett beállítva, melyhez 8 cm-es alvízi vízmélység tartozott – ekkor az átlagsebesség 0,125 m/s. A pontbeli időátlagolt sebességmérést laboratóriumi mérésekhez fejlesztett akusztikus sebességmérő eszközzel (Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) (Nortek Vectrino)) végeztük. A modell igazolása céljából a kisminta modell tulajdonságaival azonos numerikus áramlási szimulációkat végeztünk. A méretarányok megfelelően a numerikus modell cellaméreteit is 1/10-ére csökkentettük. Az átlagos eltérés a modell által számolt és a kisminta esetén mért pontbeli sebesség nagyságok

(Norwegian University of Science and Technology, NTNU) által fejlesztett CFD szoftver (Bihs és társai 2016). A programot kifejezetten vízmérnöki alkalmazásra tervezték, víz-levegő-hordalék fázisok modellezésére. A modell az összenyomhatatlan folyadékokra érvényes folytonossági (1) és a Reynolds-átlagolt Navier-Stokes (2) egyenleteket oldja meg véges differencia módszerrel:

Diminishing (TVD) Runge-Kutta sémával történt (Gottlieb és Shu 1998). A szabad felszín helyzetének számítása az egyes időlépésekben az ún. Level-Set Method (LSM) használatával történik. A módszer a számítási tartomány minden pontjában definiál egy újabb skalár változót, $\phi(x, t)$ -t, melynek értéke megadja a legrövidebb távolságot a szabad vízfelszíntől. Ebből következik, hogy ahol a függvény értéke zérus, ott lesz a szabad vízfelszín pozíciója az adott időpillanatban. Ha a függvény értéke nullától eltérő, akkor számértékének előjele utal arra, hogy melyik fázisról van szó:

között mindössze 0,029 m/s-ra adódott, így a 3D modellünket igazoltnak tekintettük.

A „prototípus” numerikus számítások során egy négy idomból álló, összetett kialakítást állítottunk permanens, egyenletes áramlás útjába. Ezen összeállítás minden 3D modellváltozatnál azonos. Három különböző vízmélység mellett végeztünk szimulációkat (70, 145 és 210 cm), melyeknél más-más hidraulikai viselkedés várható (3. ábra). A befolyásnál Dirichlet-típusú, vízhozam peremfeltétel került megadásra, melyet mindig az éppen kialakuló vízszinten oszt szét egyenletesen, logaritmikusan sebességprofilra feltételezve. Ez a csatorna szélességét és az alvízi vízszintet (a hosszmentén állandó vízmélységeket) figyelembe véve 0,2 m/s-os átlagsebességet jelentett minden szcenáriónál, tehát úgy lett megválasztva a vízhozam, hogy az aktuális vízszint mellett éppen 0,2 m/s legyen a sebesség. A kimeneti peremfeltétel állandó vízszint. A csatorna oldalfalain speciális szimmetria-sík peremet alkalmaztunk, amellyel azt feltételeztük, hogy a számítási tartományon belül és kívül is ugyanazok az értékek alakulnak ki. A felső peremen atmoszférikus nyomást állítottunk be. Ezen a ponton érdemes megjegyezni, hogy nagyságrendileg ugyan a valós tartományban járunk, mégis teljesen hipotetikusak a felvett peremfeltételek (legfőképpen a vízhozam megállapítása), így nem fogjuk tudni megmondani, hogy valójában mi a tervezési szempontból mértékadó állapot, mivel túl sok az ismeretlen szabad paraméter. A tanulmány célja hogy modern 3D modellezési eszközökkel feltárja a vizsgált, komplex geometriájú hullámtörő elemek körüli hidrodinamikai viszonyokat, az idomegyüttes zavartalan áramlásra illetve hullámzó közege gyakorolt hatását.

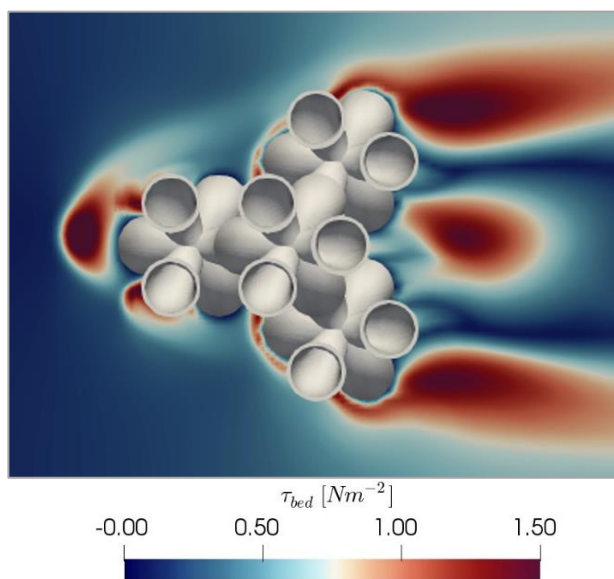


3. ábra. A szabadfelszín helyzete 70, 145 és 210 cm-es vízmélységek esetén
Figure 3. The position of the free water surface at 70, 145 and 210 cm depth

A hullámozás hatásását 120 és 190 cm-es nyugalmi vízmélységek mellett vizsgáltuk, a Mekong deltára jellemző hullámparaméterek ($A=20$ cm amplitúdó és $T=5.0$ s periódusidő) mellett (Unverricht és társai 2014). A modell kimeneti pereme kedvezőtlenül befolyásolta a hullámozást, ezért ott egy 3 m széles aktív hullámcsillapítási zóna (Miquel és társai 2018) került a modellbe, közelebb kerülve ezzel a valós, kvázi-periodikus hullámozás állapotához. A modell lehetőségét biztosít irreguláris hullámok spektrum alapján történő modellezésére is, mérési adatok hiányában azonban erre nem volt lehetőségünk. A kutatás egy következő fázisában ezt érdemesnek véljük kihasználni.

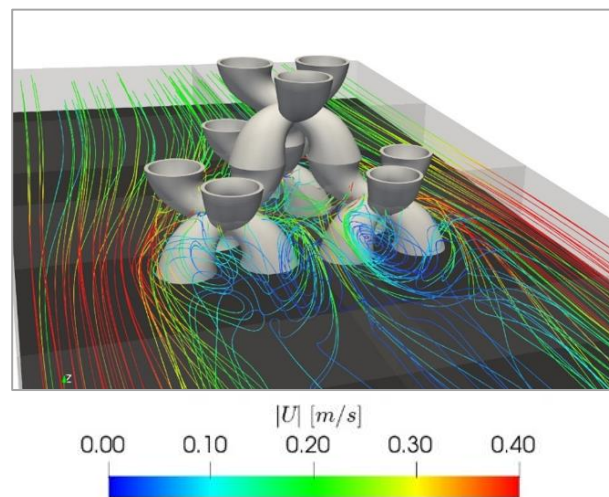
HÁROM-DIMENZIÓS MODELL-EREDMÉNYEK

Permanens esetben a legkisebb, 70 cm-es vízmélységnél alakultak ki a legnagyobb fenék-csúsztatófeszültség értékek (4. ábra) az idomegyüttes felvízi oldalán a homlokirányú láb tövében, illetve alvízi oldalon a szélső lábak környezetében – ezeken a helyeken 1,3-1,5 N/m² értékek figyelhetők meg. Ugyanennél a változatnál jelentkeztek a legnagyobb sebességkülönbségek a bemeneti peremhez képest (5. ábra). Az idomegyüttes két oldalán 0,4 m/s a sebesség, ami duplája a szelvényátlagolt értéknek. A vízmélységek növelésével a kialakuló csúcssebességek és a fenék-csúsztatófeszültségek csökkenését tapasztaltuk.



4. ábra. Permanens vízáramlás során kialakuló maximális fenék-csúsztatófeszültség értékek 70 cm-es vízmélység esetén (részlet)

Figure 4. Part of the maximum bed shear stress field at steady state flow with 70 cm water depth



5. ábra. Permanens vízáramlás során kialakuló időátlagolt sebességek 70 cm-es vízmélység esetén (részlet)

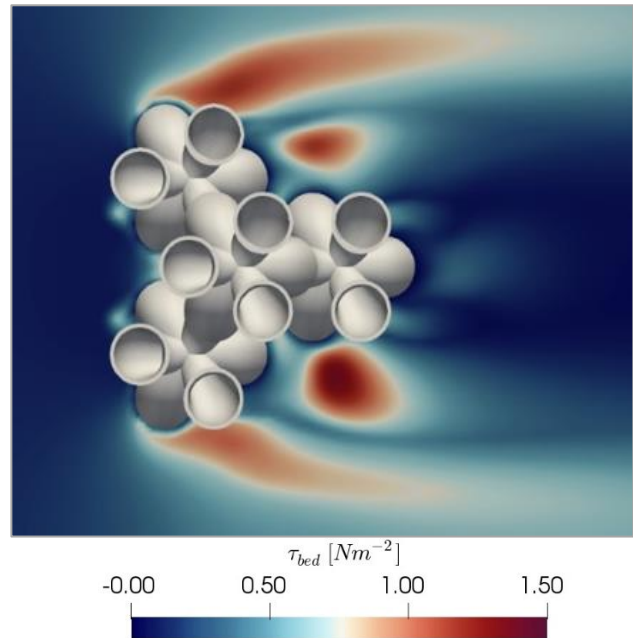
Figure 5. Part of the time-averaged velocity field at steady state flow with 70 cm water depth

A fenti tapasztalatok alapján 70 cm-es vízmélységnél 180 fokkal elforgatva is elhelyeztük az idomegyüttest (6. ábra). Megállapítottuk, hogy a kialakuló csúsztatófeszültségek ebben az elrendezésben kisebbre adódnak. A várakozásoknak megfelelően a legszélsőbb lábaknál a modelltér középvonalától (szimmetriatengelyétől) az oldalfalak felé elnyúló formák alakultak ki, 1,0-1,2 N/m² számértékekkel. Az is megállapítható, az idomegyüttes felvízi oldalán nem rajzolódna ki a korábbi esetekben tapasztaltakhoz hasonlóan kiugró feszültségnövekmények azonban alvízi oldalon 1,5 N/m² körül alakulnak a maximum-értékek. A feszültségmező aszimmetriájának oka valószínűleg az, hogy a megoldás finom időbeli felbontása miatt kvázipermanens megoldást kaptunk, vagyis megoldásra kerülhettek periodikus örvényleválások is. Ezek az idomlábak között tapasztalhatóak, néhány dm² nagyságú területeken. A maximális sebességek számértéke azonos a korábbi 70 cm-es vízborítottságú változatnál tapasztalttal.

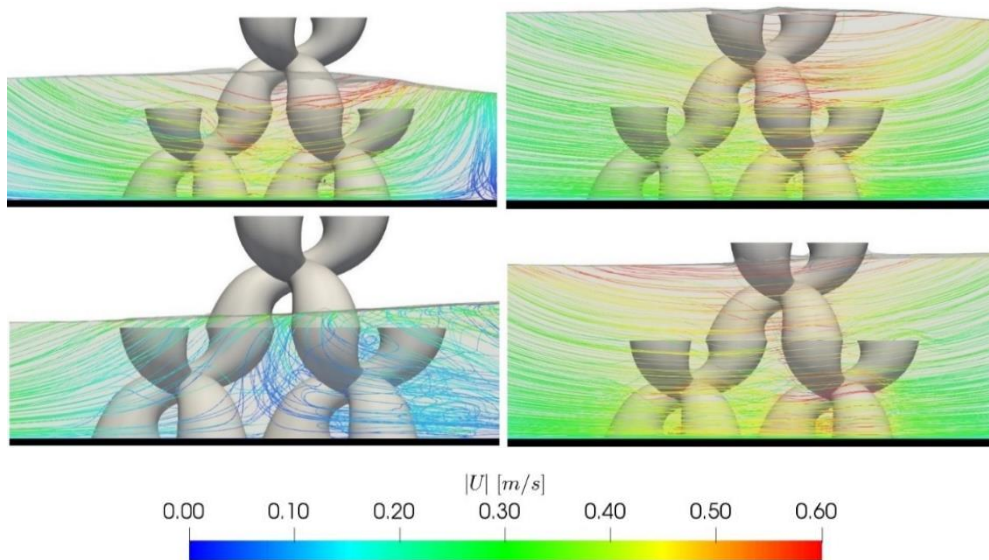
A hullámozásos esetekben a fenék-csúsztatófeszültségeket a modelleredmények hullámperiódusok alatti időátlagjaival jellemeztük. 120 cm átlagvízmélység esetén az idomok lábai mellett 2,5-3,0 N/m² értékeket kaptunk. A legszembetűnőbb változás, hogy az idomok lábai közt kiemelkedően nagy fenék-csúsztatófeszültség értékek alakultak ki – az alvízi lábak között eléri a 10 N/m²-t is. A sebességek elemzésénél nem használhattuk az átlagolt eredményeket, hiszen a folyton

változó sebességnagyságok és irányok átlagolása egészen torz eredményt mutatnának - a pulzáló hullámzó mozgás legjelentősebb hatása ugyanis a sebességvektorok előjelének periodikus változása. A fentiek és a peremfeltételek bizonytalansága miatt (miatt, lásd fentebbi megjegyzésemet) két mértékadónak vélt időpillanat bemutatása mellett döntöttünk: egyszer, mikor épp hullámhegy van az idomegyüttesnél, egyszer pedig, mikor hullámvölgy (7. ábra). Ezen eredmények főleg a módszertan széleskörű alkalmazhatóságát kívánják szemléltetni, jövőbeni kutatásokhoz eredményeit nem javasolt felülvizsgálat nélkül használni. A legnagyobb sebességek most is az idomlábak között alakulnak ki, helyenként akár 0,6 m/s. Az idom közvetlen környezetében átlagosan 0,4 m/s körüli sebességek figyelhetők meg, ami nagyságrendileg azonos az áramló közegben (előző modell) tapasztaltakkal. Ha az átlagmélység 190 cm, akkor a hullámmás során az idomegyüttes hullámhegyek esetén teljesen víz alá kerül. A fenék-csúsztatófeszültségek csúcstértékei most is az idomok lábai között alakultak ki, körülbelül 6,0-7,5 N/m². Az idomok lábai mellett most 2,5 N/m² értékeket kaptunk, ami közel ugyanannyi, mint a kisebb vízszint esetén. A kialakuló sebességek lényegében megegyeznek a kisebb átlagvízmélységnél tapasztaltakkal, és a megnövekedett vízzel borított számítási tartomány következményeként fajlagosan több helyen alakul ki áramlási sebesség növekmény. Hullámmásos modellváltozat a permanens esetenél vizsgált fordított geometriai elrendezésre nem készült. A fenti struktúrával felépített modellvizsgálatok nem egyedülállóak a REEF3D tesztelési folyamatai során. Több tanulmány (Afzal és társai 2015), (Ahmad és társai 2016) vizsgált oszlop körüli kimélyüléseket laboratóriumi mérések és numerikus szimulációk segítségével, áramló

közeg és hullámmás esetén. Ezen vizsgálatok azonban mozgómedrű szimulációk voltak, melyek során a fenék-csúsztatófeszültségek nem lettek számszerűsítve – a tényleges kimélyülések időbeni eloszlása azonban igen. A numerikus szimulációk kiválóan közelítették a laboratóriumi eredményeket, így esetünkben a REEF3D hitelességét és az alkalmazás relevanciáját ezen tanulmányok is erősítik.



6. ábra. Permanens vízáramlás során kialakuló maximális fenék-csúsztatófeszültség értékek 70 cm-es vízmélység esetén, fordított idomelrendezéssel (részlet)
Figure 6. Part of the maximum bed shear stress field at steady state flow with 70 cm water depth, with rotated structure



7. ábra. A hullámmásos futtatások során kialakuló időátlagolt sebességek
(Első oszlop: 120 cm átlag vízmélység, második oszlop: 190 cm átlag vízmélység, első sor: hullámhegy időpillanata, második sor: hullámvölgy időpillanata. (részletek))
Figure 7. Parts of the time-averaged velocity fields in the wavy simulations
(First column: 120 cm average water depth, second column: 190 cm average water depth, first row: moment of wave crest, second row: moment of wave trough)

Ahhoz, hogy a modell által számított fenék-csúsztatófeszültségek mezőjét a lehetséges meder-változások számszerűsítése céljából értékelni tudjuk, a Shields-féle diagramot használtuk (Shields 1936) (8.

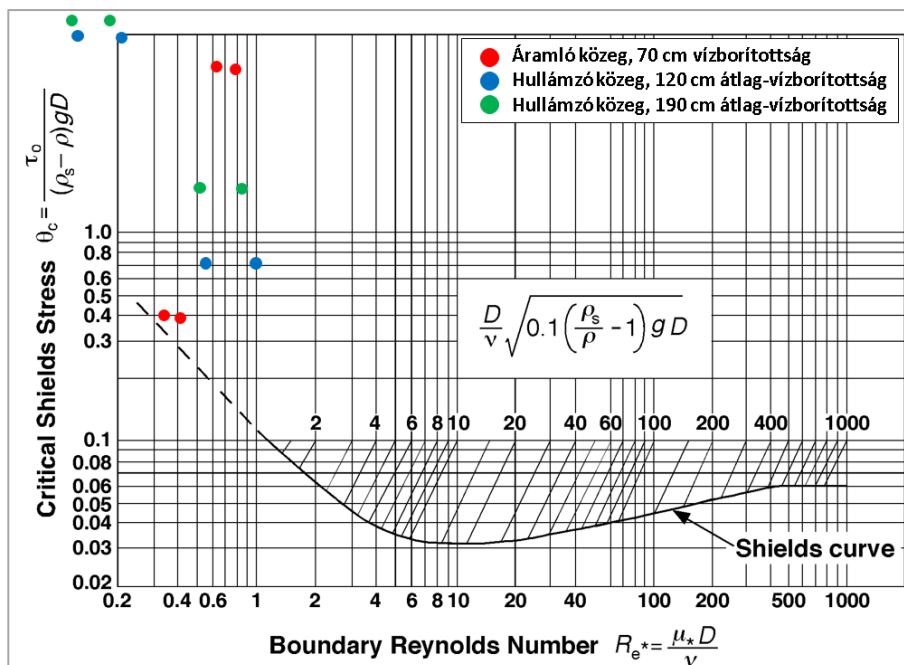
ábra). A diagram vízszintes tengelyén az ún. részecske Reynolds-szám (Re^*), függőleges tengelyén az ún. Shields-paraméter (τ^*) található, melyeket a következő formulák szerint számítunk:

$$Re^* = \frac{u^* d}{\nu} \quad (4)$$

$$\tau^* = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) d} \quad (5)$$

A (4) és (5) képletekben u^* a fenék-csúsztatósebesség, d a mederanyag mértékadó szemcseátmérője, ν a víz kinematikai viszkozitása, τ_c a kritikus fenék-csúsztatófeszültség, γ_s és γ pedig a mederanyag, illetve a víz fajhője. A diagram alkalmazásával arra a kérdésre kaphatunk választ, hogy adott áramlási és medermorfológiai paraméterek mellett számíthatunk-e a medermorfológia változására – mélyülésre vagy kiülepedésre. A Shields-görbe alatt elhelyezkedő pontok stabil mederállapotot jeleznek, a fölötte levők instabilt. *Manh és társai (2013, 2014)* mérései alapján a Mekong-delta vidékére jellemző mederanyag 41%-a agyag (mérete $< 2 \mu\text{m}$), 51%-a pedig iszap (mérete $2-63 \mu\text{m}$). Számításaink során ennek megfelelően választottunk ki két mértékadó szemcseátmérőt, iszap esetén $d_{iszap} = 10 \mu\text{m}$, agyag

esetén pedig $d_{agyag} = 2 \mu\text{m}$. A részecske Reynolds-számok és a Shields paraméterek számításainak eredményeit ábrázoltuk a Shields görbén. A csúsztatófeszültségeket az idomegyüttesek alvízi oldalán a lábak vonalában kérdeztük le a számításokhoz: minden esetben megvizsgáltuk az idomegyüttes melletti és az idomlábak közötti maximális fenék-csúsztatófeszültségeket mindkét fent említett szemcseátmérő esetére, ez rendre négy Shields-számítás modellként. A számításokat csak a mértékadó 70 cm-es vízborítottságú áramló közeg-moddellre és a két hullámzásos modellre végeztük el. Megállapítottuk, hogy minden vizsgált eset a Shields-görbe feletti területen helyezkedik el, azaz minden változatnál számolni lehet a meder kimozdulásával, amennyiben a szimulációknál felvett peremfeltételek igazak.



8. ábra. A hidromorfológiai számítások eredményei a Shields-görbe helyzetéhez képest
Figure 8. Results of hydromorphological calculations on the Shields curve

A 2D NUMERIKUS MODELL

Munkánk során az ADH (Adaptive Hydraulics Model) nevű, 2D szoftvert alkalmaztuk. Ez az Egyesült Államok Mérnökhadteste (USACE) által kifejlesztett sekélyvízi szimulációk lebonyolítására optimalizált program (*US Army Corps of Engineers 2015*), melynek megfelelősége már bizonyított, nemzetközi szinten is széles körben használják. Az ADH alkalmas sekélyvízi (2D) egyenletek megoldására, felszín alatti vizek áramlásainak, továbbá

nempermanens áramlások modellezésére is. A sekélyvízi egyenletek megoldása során a modellezett víztestben kialakuló függőleges irányú rétegződéseket átlagoljuk, a függőleges irányú áramlásokat pedig elhanyagoljuk.

A modell matematikai alapját a mélységátlagolt folytonossági és impulzusegyenleteket is magába foglaló úgynevezett sekélyvízi-egyenletek adják. Permanens állapotban a következő alakban írhatjuk fel ezeket:

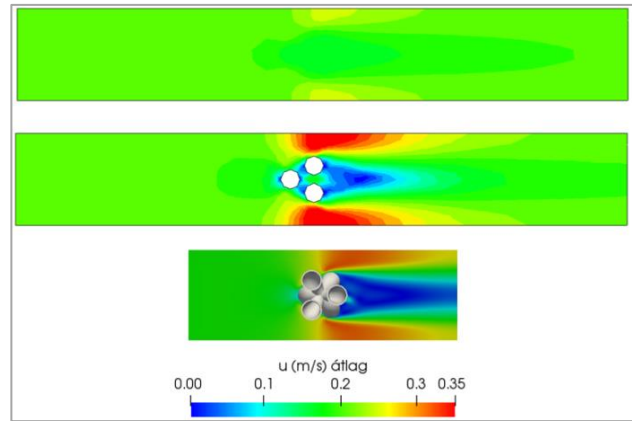
$$\frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial(h+z_b)}{\partial x} - \frac{\nu_{e,H}}{h} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\tau_{bx}}{\rho h} = 0 \quad (7)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial(h+z_b)}{\partial y} - \frac{\nu_{e,H}}{h} \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\tau_{by}}{\rho h} = 0 \quad (8)$$

ahol h jelöli a vízmélységet, x és y a Descartes-koordináták, u és v a függély-középsébség vízszintes (x és y irányú) komponensei, g a nehézségi gyorsulás, z_b a geodéziai magasság (terepmagasság), $v_{e,H}$ az effektív vízszintes örvényviszkozitási együttható τ_{bx} és τ_{by} pedig a fenékcúsztatató-feszültség értékek. Mivel a vizsgált, komplex geometriájú CALTROPE idom 2D modellbeli implementálhatósága nem megvalósítható a függőleges menti geometriai komplexitás miatt, ezért a beépítésre két különböző 2D-re leegyszerűsített modellt teszteltünk: i) az idom lábainál alkalmazott szélsőségesen nagy Manning-érdességek felvételét és ii) az idomlábak helyén végtelen magas hengerek akadályként való figyelembevételét (9. ábra). Utóbbi elfogadhatóbb eredményt hozott, így a nagy érdességek bevezetését elvetettük.

A Mekong deltavidék egy kisebb folyóját, a Sông Ba Lai víztestet és torkolatát választottuk vizsgálódásunk helyszínéül (10. ábra). A műholdfelvételeken jelentősebb hordalék-kiülepedés látszódik, így esett a választás erre a területre.



9. ábra. A CALTROPE idom 2D implementációja (felül: a lábák helyén felvett extrém mederérdesség, középen: a lábák helyén végtelen magas hengerek beépítése, alul: a 3D futtatás átlagsebesség-értékei)
Figure 9. Implementation of CALTROPE structure in 2D (top: extreme bed roughness in the steads of the legs, middle: infinitely tall cylinders in the steads of the legs, bottom: average velocity field of the 3D model)



10. ábra. A választott mintaterület (forrás: Google Earth)
Figure 10. The chosen study area (source: Google Earth)

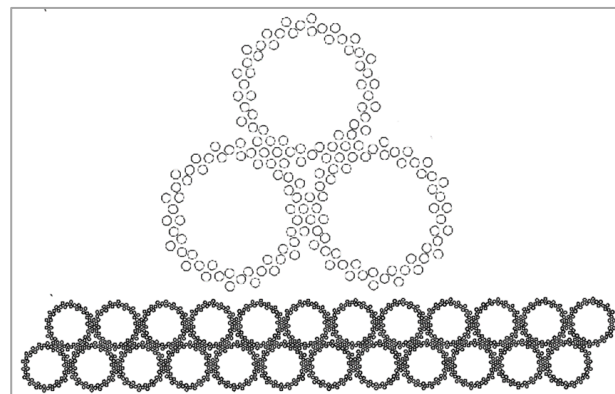
A durva felbontású (30 m) digitális terepmodellet a U.S. Geological Survey weboldaláról szereztük be (<https://www.usgs.gov>). Ez megfelelő választás, mivel óriási a térlépték és a vizsgált terület közel sík. A Sông Ba Lai digitális medermodelljét egy korábban a teljes Mekongra elkészült 1D modelltől generáltuk. A CALTROPE idomokat az S39' ötlete alapján méhsejt alakban, három sávban helyeztünk el (11. ábra).

Bemeneti peremfeltételnek állandó $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ vízhozamot állítottunk be, mely egy kisvízi Mekong-vízhozamnak felel meg. Kimeneti peremként a tengerben állandó, 1 m vízmélységet adtunk meg, mely apály idején fordulhat elő.

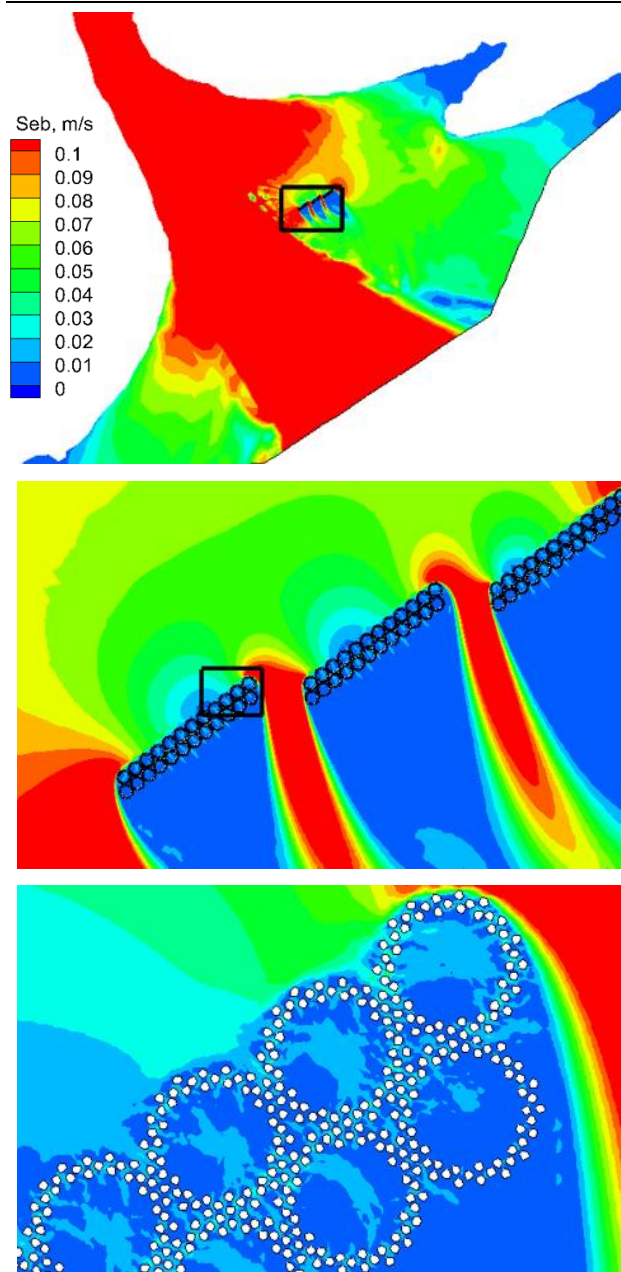
A 2D EREDMÉNYEK

Amellett, hogy az idomsorok megvezetik az áramlást, közvetlen környezetükben le is lassítják azt. Már a felvízi oldali idomsor környezetében is nagyon kicsi, $0,01\text{--}0,02 \text{ m/s}$ körüli áramlási sebességek alakultak ki, amin a következő sorok, illetve már a méhsejtek túlsó oldala is tovább lassít (12. ábra). Ebből az következik, hogy a választott elhelyezési sűrűség ritkítható, kevesebb sor is kellően lelassítja

az áramlást. A méhsejtek közötti kihagyásokban a felgyorsul az áramlás, a sebesség több mint tízszerese az idomok között kialakulónak. Ennek kiküszöbölése szintén a geometriai elrendezés felülvizsgálatát igényli.



11. ábra. A CALTROPE idomok geometriai elrendezése a 2D modellben (egy sáv)
Figure 11. Geometric layout of CALTROPE structures in the 2D model (one streak)



12. ábra. A 2D szimulációból adódó mélységintegrált, időátlagolt sebességmező részlete

Figure 12. Part of the time and depth-averaged velocity field from the 2D simulation

Ahhoz, hogy értékelni tudjuk a kialakuló sebességeket, további kutatások szükségesek többek közt a mangrove ökohidraulikai tulajdonságairól és áramlástűréséről, az idomok áramlási iránnyal bezárt szögéről (Mennyire vezet meg az áramlást, és ennek milyen hatásai vannak a feliszapolódásra?) és az idomsorok duzzasztó hatásáról.

Összességében kijelenthető, hogy ilyen kis sebességek esetén számolhatunk az idom környezetében történő hordaléktelepedéssel. Ezen megállapításunkat erősíti a modellezésből kihagyott mangrovecsemeték hatása is, melyek - életkoruk függvényében – szintén kiválóan csillapítják az általuk alkotott mocsárvidékek áramlásait.

ÉRTÉKELÉS, KITEKINTÉS

A 2D próbafuttatás rávilágított arra, hogy jó irányban indultunk el a nagyléptékű vizsgálatok során, azonban ez

rengeteg finomításra szorul. Ahhoz, hogy valóságghűbben szimulálni tudjuk a CALTROPe hatását, részletesebb terpmmodellre és mederfelmérésre lenne szükség, valamint részletes hidrológiai és hidraulikai adatokra. Ha ezek ismertek, felállítandó egy új numerikus modell, melyet kalibrálhatunk és validálhatunk, valamint tovább vizsgálhatjuk az idomok 2D modellbeli leképezhetőségét. Ezek után következhetnek a kialakítást érintő kísérletek: milyen elrendezésben és mennyi CALTROPe idom elhelyezésére van szükség a rendszer hatékony működéséhez?

Tovább finomítható az idomok figyelembevételének módszere a modellben. Az, hogy a különböző változatok (végtelen henger, kúp, csonkakúp, durva felület alkalmazása, porózus akadály (Suzuki és társai, 2019)) közül melyik az optimális, függhet attól is, hogy milyen vízmélységgel milyen kezdeti sebességgel számolunk, és milyen magasra építjük az idomrendszert. Erre validálni a jövőben további kismintamodellek eredményeivel lehet. A fent felsoroltakon túl természetesen további geometriai megoldások is vizsgálhatóak.

A kismintakísérletek szerepe a CALTROPe-projektben kimagasló, hiszen egy olyan műtárgy körüli hidrodinamikai jelenségeket vizsgálunk, mely még soha nem épült meg valós környezetben, valós méretben. Laboratóriumban lehetőségünk nyílik mozgómedrű kisminta modellek felépítésére a növényzet különböző módú figyelembevételével (a mozgómedrű kismintakísérlet- és a növényzet modellezhetőségeinek korlátai mellett) (Vargas-Luna és társai 2013, Vargas-Luna 2016), a mederváltozásokat újfajta módszerekkel számszerűsíteni akár a kisminta-modell vízének leeresztése nélkül (Gorte és társai 2013). A kísérletek során alkalmazott geometriai elrendezéshez iránymutató lehet a mangrovemocsarakra kidolgozott kritikus szélesség elmélet is (Hong Son és társai 2017). A kisminta modellkísérletek esetén PIV (Hong Son és társai 2018) és PTV (Zsugyel 2016) módszerek tesztelhetőek a vízfelszín alatti és a felszíni áramkép előállításához.

A laboratóriumi mérőeszközök folyamatos fejlesztései ma már lehetővé tesznek kisminta léptékű pontszerű lézeres sebességmérést és fenék-csúsztatófeszültség mérést (Measurement Science Enterprise 2016). Laboratóriumi lebegtetett hordalékméréshez kiváló eszköz-együttes az Acoustic Concentration Profiler (ACP) (Admiraal 2000). Számos kutatási eredmény számol be továbbá az Acoustic Doppler Velocimeterről (ADV) mint laboratóriumi hordalékhozam-mérési eszközről (Maa és társai 2007, Chanson 2008, Ha és társai 2009).

A 2D szimulációk manapság képesek a medermorfológiai változásokat is becsülni, azonban erre jelen dolgozat keretein belül már nem került sor. A jövőben azonban célként kell, hogy a szemünk előtt lebegjen egy olyan modell felépítése, melyben már a medermorfológiai változásokat is számszerűsíteni tudjuk. Ehhez jó kiindulási alapot jelentenek a dolgozat 3D futtatásaiból adódó fenék-csúsztatófeszültség mezők, melyekkel akár validálhatóak is a 2D morfológiai eredmények. A modellparaméterek és a módszerrel pontosításához releváns kutatási eredmények szintén rendelkezésre állnak (Ahmad és társai 2015, Thanh és társai 2017, Ashwin és társai 2018).

KÖVETKEZTETÉSEK

Azon törekvésünk, hogy bebizonyítsuk, 3D, majd 2D szimulációs eljárásokkal vizsgálni tudjuk az összetett geometriájú CALTROPE idomok hatását, sikeres volt. 3D szimulációs eljárásokkal elő tudtuk állítani az áramképet és a fenécszuszátófeszültség mezőket mind áramló közegnek, mind hullámterhelésnek kitett esetekben. Ezek az eredmények felhasználhatóak egy későbbi mozgómedrű szimuláció felparaméterezésére, valamint a jövőbeni részletes 2D szimulációk validálására. Kimutattuk, hogy az idomegyüttes környezetében hol várhatóak medermorfológiai váramlások (a peremfeltételek függvényében), ez által az idom geometriai kialakítása finomítható, egy újabb változat tesztelése a bemutatott módszerekkel vizsgálható és értékelhető. A szimulációk reprezentatív-szerepe, hogy az összetett geometriájú szerkezetek körüli áramlási viszonyok vizsgálata ma napig már megoldható a modern CFD szoftverekkel és matematikai eljárásaikkal. Ezek vizsgálata a jövőben az összetett műtárgyak analízisét és gyakorlati implementálását segítik elő. A CALTROPE esetében jelen tanulmány jól mutatja, hogy maga komplex idom önmagában milyen jól betölti az egyébként mangrovecsoportosulásokkal feltöltöttnek képzelt rendszert. Belátható, hogy a várt hullámzáscsillapító hatás és hordalék kiülepedés javulni fog a cserjék beültetésével. Ezek laboratóriumi és szimulációs vizsgálata szintén a jövőbeni kutatási feladatok egyike.

A Shields-diagram bevezetésével előzetes becslést tettünk az erózió mértékére. Az ehhez tartozó számítások alacsony részecske-Reynolds számot és igen magas kritikus Shields-feszültséget eredményeztek, melyek alapján az értékpárok a Shields-görbe felett helyezkednek el. Ezen magas feszültségértékek alapján joggal következtethetünk a mederanyag kimozdulására, azonban a jövőben helyszíni mérések alapján felépített, illetve valós hullámspektrummal paraméterezett modellel újra megvizsgálandók a szimulációs eredmények.

A 2D szimulációk bemutatták, mik a lehetőségek és mik a korlátok egy CALTROPE-hoz hasonló komplex rendszer 2D szimulációba való implementálása során. Megállapítottuk, hogy az idomlábak helyén végtelen magas hengerek modellbe építése jobban közelíti a 3D szimuláció eredményeit, mint ugyanott nagy érdekesség beállítása. Mindezek ugyanakkor kis vízmélységek esetén helytállóak, a jövőben ezek kiindulási alapul szolgálnak összetett idomösszeállítások helyettesítésének kikísérletezéséhez.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Időt és energiát nem spórolva egyengette kutatásaimat, segítette a modellezést és a számításokat Dr. Baranya Sándor és Fleit Gábor, a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék munkatársai, ezúttal köszönök nekik minden segítséget, támogatást. Köszönet illeti ezen túl Dr. Józsa Jánost a tanácsaiért és a szakmai megbeszélések gördülékennyé tételéért, Baróthy Annát a CALTROPE-pal való megismerkedtetésért, Cansu Özyamant a laboratóriumi mérésekben való segédkezésért.

IRODALOMJEGYZÉK

Admiraal D. M., Garcia M. H. (2000). Laboratory measurement of suspended sediment concentration using

an Acoustic Concentration Profiler (ACP), *Experiments in Fluids* 28(2). pp. 116-127.

Afzal M. S., Bihs H., Kamath A., Arntsen Ø. (2015). Three-Dimensional Numerical Modeling of Pier Scour Under Current and Waves Using Level-Set Method. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. 137(3). 7.

Ahmad N., Bihs H., Kamath A., Arntsen Ø. A. (2015). Three-dimensional CFD Modeling of Wave Scour Around Side-by-Side and Triangular Arrangement of Piles with REEF3D. *Procedia Engineering*. 116. pp. 683-690.

Ahmad N., Bihs H., Kamath A., Arntsen Ø. (2016). 3D Numerical modelling of pile scour with free surface profile under waves and current using the level set method in model REEF3D. *The 8th International Conference on Scour and Erosion*. pp. 69-76.

ANSYS (2019). R1 Capabilities. (brossúra)

Ashwin S. P., Abhijith P. A., Arunakumar H. S., Pruthviraj U., Arun K. (2017). Numerical Modelling and Corroboration of Wave Interaction with Coastal Vegetation using Open Source CFD Tool: REEF3D. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*. 4(8). pp. 237-243.

Baranya S., Józsa J., Napoli E. (2010). Field and numerical study of river confluence flow structures. *Fifth international conference on fluvial hydraulics, River Flow*. pp. 233-241.

Baranya S., Olsen N. R. B., Stoesser T., Sturm T. W. (2012). Three-Dimensional Rans Modeling of Flow Around Circular Piers using Nested Grids. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. 6(4). 648-662.

Baranya S., Olsen N. R. B., Stoesser T., Sturm T. W. (2013). A nested grid based CFD model to predict bridge pier scour. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management*, 167(5). pp. 259-268.

Bihs H., Kamath A., Chella M. A., Aggarwal A., Arntsen Ø. A. (2016). A new level set numerical wave tank with improved density interpolation for complex wave hydrodynamics. *Computers and Fluids*. 140. pp. 191-208.

Chanson H. (2008). Acoustic Doppler Velocimetry (ADV) in the Field and in Laboratory: Practical Experiences. *International Meeting on Measurements and Hydraulics of Sewers IMMHS'08, Summer School GEM-CEA/LCPC, Bouguenais, France, 19-21 August 2008*. 49-66. University of Queensland, Department of Civil Engineering.

Courant R., Friedrichs K., Lewy H. (1967). On the partial difference equations of mathematical physics. *IBM Journal of Research and Development*. 11(2). pp. 215– 234.

Fleit G., Baranya S., Bihs H. (2017). CFD Modeling of Varied Flow Conditions Over an Ogee-Weir. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 62(1). pp. 26-32.

Fleit G., Baranya S., Krámer T., Józsa J. (2015). Hajók keltette hullámzás hatásának terepi feltárása a litorális zónában. *Hidrologiai Közlöny*. 95. évf. 3. szám. pp. 29-36.

- Fleit G., Baranya S., Rüther N., Bihs H., Krámer T., Józsa J. (2016). Investigation of the Effects of Ship Induced Waves on the Littoral Zone with Field Measurements and CFD Modeling. *Water*. 8(7). 300.
- Flow Science, Inc. (2018). FLOW-3D® Version 12.0. Users Manual. Santa Fe, NM, USA.
- Gorte B., Vargas-Luna A., Sirmacek B. (2013). Camera-Projector 3D Scanning of a Semi-Submerged Terrain in a Flume. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. II-4/W1. pp. 13-18.
- Gottlieb S., Shu C.-W. (1998). Total variation diminishing Runge-Kutta schemes. *Mathematics of Computation*. 61(221). pp. 73-85.
- Ha H. K., Hsu W. Y., Maa J. P. Y., Shao Y. Y., Holland C. W. (2009). Using ADV backscatter strength for measuring suspended cohesive sediment concentration. *Continental Shelf Research*. 29(10). pp. 1310–1316.
- Hong Son T., Uijtewaal W. S. J. (2018). Cycloid flows induced by the Large horizontal coherent structures in the vegetated compound channel. *E3S Web of Conferences*. 40. Article number: 02045.
- Hong Son T., Ye Q., Stive M. J. F. (2017). Estuarine Mangrove Squeeze in the Mekong Delta, Vietnam. *Journal of Coastal Research*. 33(4). pp. 747–763.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* IPCC, Geneva, Switzerland. 151.
- Kamath A., Fleit G., Bihs H. (2019). Investigation of Free Surface Turbulence Damping in RANS Simulations for Complex Free Surface Flows. *Water*. 11(3). 456.
- Liu X. D., Osher S., Chan T. (1994). Weighted essentially non-oscillatory schemes. *Journal of Computational Physics*. 115(1). pp. 200-212.
- Maa J. P. Y., Kwon J. I. (2007). Using ADV for cohesive sediment settling velocity measurements. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 73(1-2). pp. 351–354.
- Manh N. V., Merz B., Apel H. (2013). Sedimentation monitoring including uncertainty analysis in complex floodplains: a case study in the Mekong Delta. *Hydrology and Earth System Sciences*. 17(8). pp. 3039-3057.
- Manh N. V., Dung N. V., Hung N. N., Merz B., Apel H. (2014). Large-scale suspended sediment transport and sediment deposition in the Mekong Delta. *Hydrology and Earth System Sciences*. 18(8). pp. 3033–3053.
- Miquel A., Kamath A., Alagan C. M., Archetti R., Bihs H. (2018). Analysis of Different Methods for Wave Generation and Absorption in a CFD-Based Numerical Wave Tank. *Journal of Marine Science and Engineering*. 6(2). 73.
- Measurement Science Enterprise (2016). MicroV™ & MicroS™ sensor brochures.
- Olsen N. R. B. (2018). *SSIIM User's Manual*. Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Environmental Engineering.
- OpenCFD (2018). *OpenFOAM User Guide*. Copyright © 2004-2011, 2016, 2017, 2018 OpenCFD Limited.
- Shields A. (1936). *Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung Auf Die Geschiebebewegung*. PhD thesis. Technical University Berlin, Mitteilungen der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau. 26.
- SIEMENS Product Lifecycle Management Software Inc. (2017). *STAR-CCM+ User Guide*. © 2017 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
- Suzuki T., Hu Z., Kumada K., Phan L. K., Zijlema M. (2019). Non-hydrostatic modeling of drag, inertia and porous effects in wave propagation over dense vegetation fields. *Coastal Engineering*. 149. pp. 49-64.
- Thanh V. Q., Reyns J., Wackerman C., Eidam E. F., Roelvink D. (2017). Modelling suspended sediment dynamics on the subaqueous delta of the Mekong River. *Continental Shelf Research*. 147. pp. 213–230.
- Unverricht D., Nguyen T. C., Heinrich C., Szczucinski W., Lahajnar N., Statterger K. (2014). Suspended sediment dynamics during the inter-monsoon season in the subaqueous Mekong Delta and adjacent shelf, southern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*. 79(part A). pp. 509–519.
- US Army Corps of Engineers (2015). *Adaptive Hydrodynamics (AdH) Version 4.5 Hydrodynamic User Manual*.
- Vargas-Luna A. (2016). *Role of vegetation on river bank accretion*. PhD thesis. Technical University of Delft, Department of Environmental Fluid Mechanics.
- Vargas-Luna A., Uijtewaal W., Crosato A., Tanczos I., de Vries M. (2013). Effects of vegetation on sediment transport, experience from laboratory measurements. *RCEM 2013: 8th Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Santander, Spain*. pp. 9-13.
- Wilcox D. C. (1994). *Turbulence Modeling for CFD*. DCW Industries Inc., La Canada, California, U.S.
- Zsugyel M. (2016). *On the impact of chaotic advection on the mixing around river groynes*. PhD thesis. Budapest University of Technology and Economics, Department of Hydraulic and Water Resources Engineering.
- <http://s39.hu>; Letöltve: 2019.04.16.
- <https://www.usgs.gov>; Letöltve: 2019.04.16.

A SZERZŐ



GRIVALSZKI PÉTER Építőmérnöki BSc oklevelét 2016-ban, majd Infrastruktúra-építőmérnök MSc diplomáját 2018-ban szerezte a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Jelenleg az egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének doktorandusza, és a VITUKI Hungary Kft. tudományos segédmunkatársa. A CALTROPe-projektrel a 2016-os Budapesti Víz-Világtalálkozón ismerkedett meg, ezt követően kezdett a témát érintő tudományos kutatómunkába, TDK dolgozat formájában. A dolgozattal kvalifikálta magát az országos fordulóba (OTDK), ahol I. helyezést ért el. 2018-ban a témában írt diplomadolgozata elnyerte a Magyar Hidrológiai Társaság Lászlóffy Woldemár diplomamunka pályázatának Mosonyi Emil különdíját, a Társaságnak 2019 óta tagja. Jelenlegi kutatási területe összetett geometriájú műtárgyak körüli áramlási és morfológiai folyamatok kísérleti vizsgálata.

Árvízvédelem rövid története Hollandiában

Nagy László

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

Kivonat

Hollandiában az árvízvédelem évezredes történetét bátorság egy rövid közleményben összegezni, így csak néhány fordulópontot, általánosítható esetet szeretnék bemutatni. Ezek az esetek ráirányítják a figyelmet a holland árvízvédelem változására, fejlődésére. Már a számok is azt mutatják, komoly feladattal álltak szemben, ami elsősorban a tengeri árvizek hevesességéből származott. Bár ez az utóbbi évtizedekben kisebb jelentőséggel bírt, nem szabad elfelejteni a 2. évezred első néhány évszázadáról, amikor szigeteket, gátakat tépett szét a tengeri árvíz és nagy szárazföldi területeket foglalt el. Ezeknél az árvizeknél nem volt ritka az 50 000 áldozat sem. Az ország belsejét a folyami árvizek veszélyeztették.

Kulcsszavak

Árvízvédelem, tengeri árvíz, Hollandia, gátszakadás, történelem.

Short history of the flood protection in the Netherland

Abstract

In the Netherlands, to summarize the millennial history of flood protection in a short article is a brave thing, so I would like to present only a few turning points and generalizable cases. These cases call attention to the change and development of Dutch flood protection. The numbers already show that they are facing a serious task that originated from the heaviest of the storm surges. Though this has been less significant in the recent decades, it is important not to forget about the first few centuries of the 2nd millennium when islands broken, dikes opened by storm surges and occupied large land areas. There were not rare 50 000 victims in these floods. The inland of the country was endangered by river floods.

Keywords

Flood control, stormtide, the Netherland, dike breach, history.

BEVEZETÉS

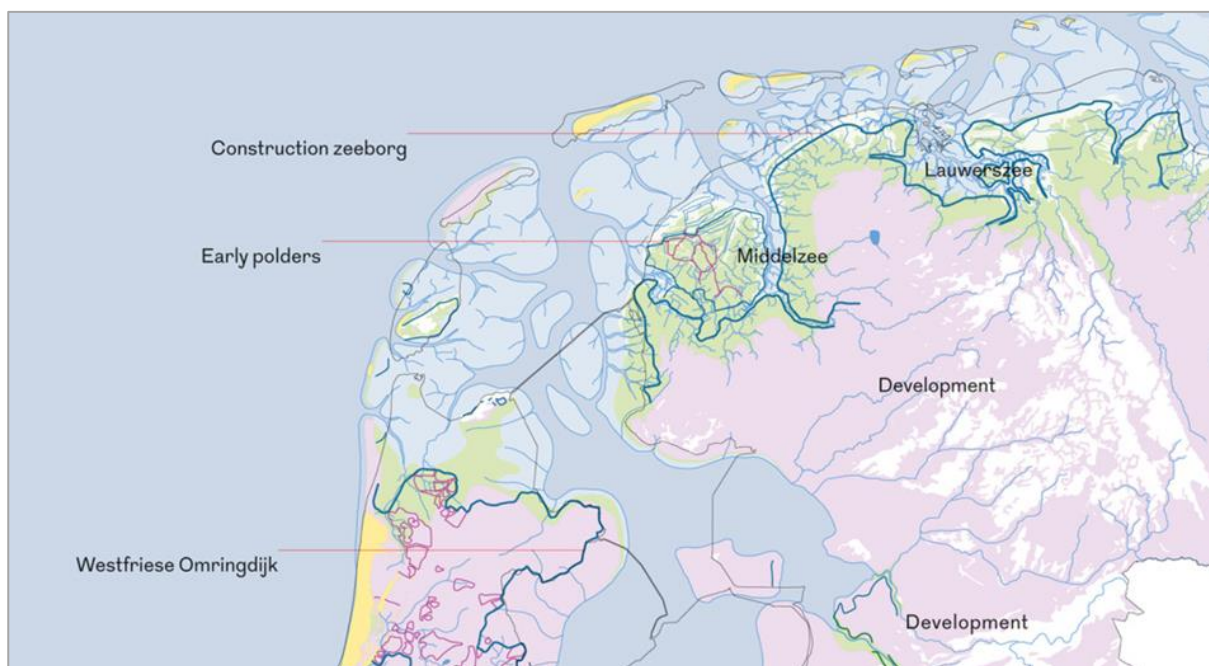
Hollandia tengerpart menti területein az első telepések mintegy 5 000 éve jelentek meg (NHV 2004). A legöregebb gát Hollandiában, amiről tudunk, mintegy 2 000 éves, a fríz Peins község mellett tőzegekből építették. Ez a tény kiegészítve azzal, hogy a 838. évi árvízről már írásos emlékek vannak, azt mutatja, hogy az árvíz elleni küzdelem nagyon korán kezdődött az Északi-tenger melletti területeken. Tekintettel arra, hogy mind a mai Belgium és Németország szomszédos területein is a tengerár a jelentős veszély, kétségtelen, hogy Hollandia ebből a szempontból központi helyet foglal el. A tengeri árvizek gyakorisága és erőssége a második évezred elején mintegy 300-400 évig erősen dominált, ekkor alakultak ki a mai szigetek profiljai a holland partoknál, és több tengeröböl a szárazföldön (pl. Zuiderzee, Jade-öböl).

A gátépítés legkorábbi jelzései a késő vaskorból származnak. Már a római korban kis gátakat építettek a mai Hollandia területén. Az állandóan fejlődő gáthálózat kulcsfontosságú pillanatait a különböző szakaszok jellemzik. Többek között Peins és Dongjum fríz falvak dűnéinél végzett ásások során találtak gáttesteket, a bucka kialakulását megelőző időkből származó apró gátakat. Ezek a kicsi, legfeljebb 70 cm magas gátak tőzegekből álltak össze. Később a szerkezetet megerősítették úgy, hogy a vízoldali rézsút enyhébb hajlással építették hozzá.

A kora középkorban kevés gátépítési tevékenységet jegeztek fel Hollandiában. A rómaiak távozásával politikai

instabilitás és népességcsökkenés kezdődött. A nyolcadik századtól kezdődően lassú népességnövekedést láthatunk, aminek következtében 1250-re a lakosság Hollandiában tízszeresére nőtt. Új települések alakultak ki a sós mocsarakban, amelyek a halban és az állattenyésztési legelőben gazdagok voltak. Kisebb léptékben a vízfolyásokat elgátálták, kis gátakat építettek fel, követve a meglévő domborzat magaslati közötti mélyebb részt. A népesség növekedésével nőtt a gátak hossza is (1. ábra).

Az első folyógátak a XI. században jelentek meg a folyó torkolatánál, ahol a tenger behatolása a folyó magas vízszintjéhez fűződött. A helyi uralkodók elgátálták a folyók mellékágait, hogy megakadályozzák a földjükön az áradást (Graaf van Holland 1160 körül a Kromme Rijn-t, V. Floris 1285 a Hollandse IJssel-t), ami további problémákat okozott másoknak a folyón feljebb. Ugyanakkor a folyó felső részén a nagyléptékű erdőirtás a folyó szintjét egyre szélsőségesebbé tette, míg a szántóterületek iránti kereslet ahhoz vezetett, hogy egyre több területet védtek be gátakkal, kevés helyet biztosítva a folyóágnak, patakoknak, ami még magasabb vízszinteket okozott. A falvak védelmére szolgáló helyi gátak összekapcsolódtak, hogy mindenkor a folyótól el legyenek szigetelve. Ezek a fejlemények azt jelentették, hogy amíg a folyó-völgyek első lakóinak a rendszeres áradás csak kellemtelen volt, ezzel ellentétben a későbbi ritka áradások, amikor a gátak a terhelés hatására átszakadtak, sokkal rombolóbbak voltak.



1. ábra. A gátak elhelyezkedése 1200 körül
Figure 1. Map of the dikes at around 1200

OMRINGDIJK

Markáns növekedés a lakosság lélekszámában az első évezred végén kezdődött. A föld védelme érdekében 1100 környékén már egyre több gátat emlegetnek a forrásmunkák. A községek és gazdaságok által szervezett gátépítés több mint ezer évre tekint vissza észak Hollandiában, bár több helyen feljegyzésekkel nem rendelkezünk, csak a gátak ősi magjának vizsgálata enged erre következtetni (Kuks 2002). Nem ismert, hogy hol és mikor kezdődött el a Nyugat-Fríz Omringdijk építése, de valószínűleg ez valamikor a XI. vagy XII. században lehetett. A teljes Omringdijk első említése 1320-ból származik, ami "Verdin püspöki döntése" néven vált ismertté. Abban az évben, III. Vilmos gróf idején, készült el az a könyv, amelyben részletesen ismertették a gát helyét, beleértve a különböző szakaszok nevét és hosszát is. A nyugat fríz tözeges területek süllyedése az 1000-es évekig szükségessé tette a vízrendszer összefogását, patakok, csatornák építését és a torlók kialakítását. Az Omringdijk-ot úgy alakították ki, hogy több kisebb patakot összekapcsoltak. Ezt a munkát 1250 körül fejezheték be, éppen időben, mert a St. Lucia 1287-es árvize betört a területére. Nem lehet tudni, hogy mennyire tudatosan, de a körgát nyugati részét a tengerparttól mintegy 8-10 km-re vezették, mintegy helyet hagyva a tengeri árvizek csillapításának. Ugyanakkor a keleti parton a gát közvetlenül a Zuiderzee (ma IJsselmeer) partján futott.

Az Omringdijk töltéseivel (2. ábra) sikeresen létrehoztak egy nagy Nyugat-Fríz életteret. A gát valószínűsége hossza mintegy 126 kilométer, a körbefogott terület 800 km², és a magassága csak néhány méter. A gát csatlakozik Enkhuizen, Hoorn, Alkmaar, Schagen, Medemblik városaihoz. A Nyugat-Fríz terület úgy nézett ki, mint egy gáttal körülvett nagy sziget. (Omringdijk ma is látható, öt napos az a séta, amivel az egész gát bejárható, történelmi emlék és turista attrakciók csatlakoznak a kiránduláshoz - www.westfriesomringdijk.nl.) Bár a XIII. században már

kiépítették ezt az "arany gyűrűnek" nevezett azonos magasságú gátrendszert, de a koordináció nagyon gyenge volt, és az egyes községek rendelkezésre álló eszközei sem voltak önmagukban elégségesek. A károsodások és gátszakadások kijavítása is azoknak a feladata volt, akiket a víz betörése leginkább veszélyeztetett, ami hatalmas megújuló munka volt, és nagy terhet rótt az ott élőkre.

1375-ben az Omringdijk nagy része a Lutjeschardam és az Nek között elmosódott, majd a helyreállított gátat 1434-ben megint elmosta egy nagy vihar. A nyugat frizek ismét egy alacsony töltést építettek Scharwoude falu mentén, hogy a vizet kivezethessék a területről. A Klamdijk, eredetileg az Omringdijk része volt, de 1436-ban két helyen beszakadt. A Graf Raad (Grófi tanács) megfedte a nyugati frizeket, hogy mostantól jobban tartsák fenn a gátat. Az 1570-es Mindenszentek árvíz elöntése óta nem történt valódi katasztrófa.



2. ábra. Az Omringdijk területe és a kerítő gát helye
Figure 2. The place of the Omringdijk

1675. november 1-jén egy súlyos észak-nyugati vihar korbácsolta a Zuiderzee vizét, aminek eredményeként november 2-án éjjel két helyen Scharwoude-nál, a Zuiderzee felől a hullámok áttörték a gátat. A víz mintegy 10 méteres mélységbe száguldott le és eljutott

Rustenburgba és Medemblikbe. A gátszakadás helyén a tenger egy mély kopolyát alakított ki. Ebben az árvízben sok szarvasmarha elpusztult, azonban a veszélyhelyzet már november 15-én megszűnt. Megkezdtek a gát kijavítását, de december 19-én ismét súlyos vihar támadt, a nyugati fríz reménytelenül elveszettek tűnt. De nem adták fel. Egy emberi erővel működtetett hatalmas cölöpöző gépet használva minden vízbetörési lyukat nagy mennyiségű cölöppel zártak el. 1676. január 26-ára lezárták az összes gát megnyílását. Ezután kezdődhetett el a sós víz által elárasztott föld kiszáritása. Az Omringdijk azonban nem volt olyan biztonságos, mint ahogy azt korábban gondolták. Az 1675-es Scharwoude-i áradások meggyőzték a frízeket arról, hogy tovább erősítsék a gátat.

Az Omringdijk környékén több régi gátszakadás nyoma ma is látszik. A keletkezett kopolyákat nem tömték be, inkább az új gáttal megkerülték azt. Ilyen, az utóbbi időben ikonikussá vált kopolyák láthatóak Grootven mellett (1. kép).



1. kép. Nyugat-Fríz Omringdijk az ún. Burger kopolya tavával
(A gát tartományi emlékmű.)

Picture 1. Westfriese Omringdijk with the Burger kolk lakes
(The dyke is a provincial monument.)

1255. AZ ELSŐ ÁRVÍZVÉDELMI TANÁCS

Megdöböntően régen, 1255-ben alakult II. Vilmos Hollandia és Zeeland grófja vezetésével az első helyi árvízvédelmi tanács, amire a hollandok, mint demokratikus intézményrendszerre roppant büszkék. (<https://www.dutchwatersector.com/our-history/>). A korai gátak ekkor még kisméretű körgátak voltak, elsősorban a tengerár ellen épültek, és esetenként különálló gazdaságok létesítették ezeket. A XII. századtól már városok is építettek gátakat, mint például Amsterdam vagy Rotterdam (az Amstel és Rotte folyók gátjairól van szó). Ezek a nyári időszakban kitarítottak addig, míg a gabonát, főként a zabot és a lóbabot learatták, viszont a téli időszak erős áradásai sokszor elmosták őket. A középkorban az ilyen különálló gátakat a tengerpart mentén összefüggő gátvonallá kezdték alakítani, a védelem mellett jellemzően inkább a tengeri területeket szárazföldi területté alakították vissza (NHV 2004). Csak lényegesen később, az állami koordináció és a gazdasági potenciál javulása tudta a földműveseket és

az akkor már kapcsolódó kereskedelmi és ipari vállalkozásokat a hatékony gátépítés érdekében összefogni, mint például az oldenburgi grófság esetében.

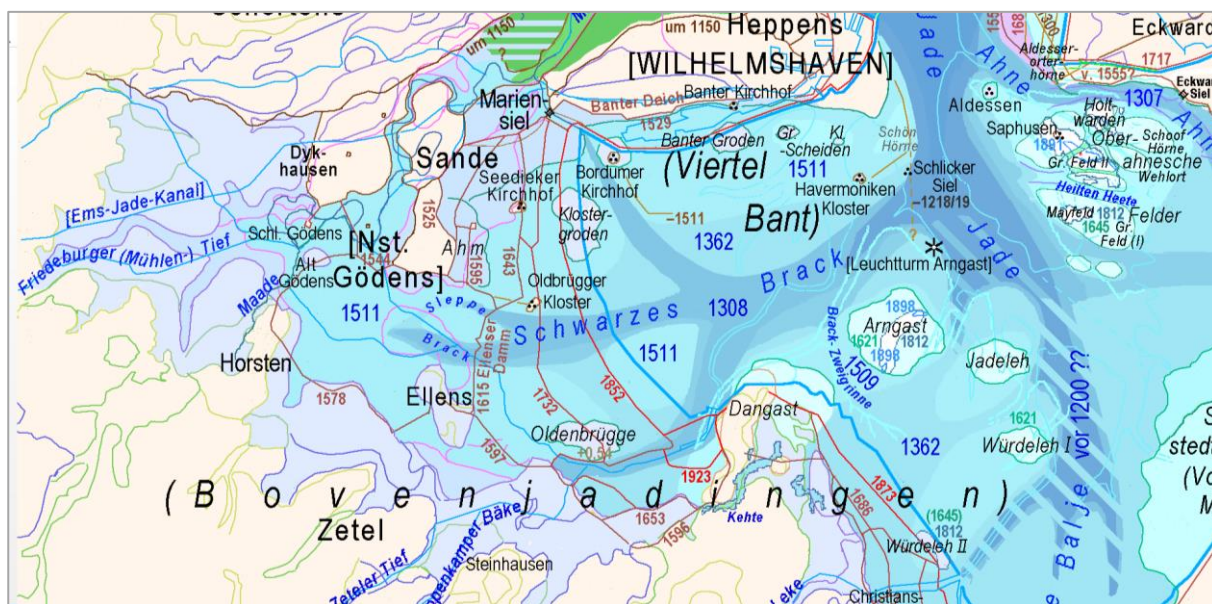
1400 körül az árvíz még nagyobb probléma volt a gyorsan növekvő és fejlődő ország számára. A tengervíz kicsapásával szemben egy másik probléma is jelentkezett, a felszín süllyedése. A terület egy nagy része olyan mélyre süllyedt, hogy a tenger és a folyó szintje alá került. Az Európai Unió legmélyebb természetes pontja a szárazföldön jelenleg Hollandiában van, -7 méter az átlagos tengerszint alatt. Az akkori idők egyik legnagyobb találmánya a szélmalomoknak a búza és a gabona őrlésén kívül más célra történő felhasználása volt. A szélmalomokkal szivattyúzták a vizet az elsüllyedt polderekből a gát fölért át a folyókba. Több mint száz évvel később a szélmalomok már mindenhol üzemeltek az egész országban. Ez a találmány lehetővé tette, hogy az ország lakosságának egy része a tengerszint alatt élhessen.

Kétségtelen tény, hogy a tengeri árvizeknél az áldozatok száma mintegy három nagyságrenddel magasabb volt, mint a folyami árvizeknél, de az ország belső területeit a folyami árvizek veszélyeztették. Az is tény, hogy kevesebb alkalommal veszélyeztettek a folyami árvizek, viszszatekintve évszázadonként átlagosan egy-egy katasztrófális árvíz alakult ki a folyók mellett, de jelentős volt a mezőgazdasági termelés kiesés, nem is beszélve a humán veszteségekről és az elszegényedésről. A gátak építése részben igazodott a folyószabályozási elvek változásához, de jelentős méretű lokalizációs gát is épült (pl. Diefdijk). Ezen gátak építése egy erős területi szemlélet meglétét bizonyítja, hasonlóan a folyószabályozási megoldásokhoz.

AZ ELLENSI-GÁT

Bár minden holland gátnak jól ismert a története, az Ellensi-gát példája talán jól mutatja a termőföld tengertől való viszszahódításának hajdani munkáját. Egy körülbelül 180 km²-es területet, a Jade-öblöt nagyrészt a vihar árvizek hozták létre a XIII. és XIV. században. Ilyen árvíz történt 1384-ben is, amikor a tengerár behatolt a szárazföldre, és a magas víz a hullámzással hozzájárult a Jade-öböl kialakulásához. Az öböl területe nyugaton messze a fríz-félszigetig terjedt, keleten a XIV. század elejétől a Weser folyó delta torkolatához csatlakodott. Ennek következtében majdnem két évszázadra Butjadingen és Stadland a Weser bal partján keskeny szigetté alakult. Az áradások pusztítása és a területvesztés gyengítette a fríz közösséget. Az 1400-as években ugyan Bréma szabad városa már megpróbálta szabályozni Butjadingent és Stadlandot, de nem ért el sikert. A XVI. század elején a Jade-öböl körüli megyéket Oldenburg grófjai hódították meg.

A Jade egy időben három összekötő ágon is csatlakozott a Weser torkolatán keresztül a tengerhez. Az első ilyen folyómedret 1450-ben zárták le gáttal, míg az utolsót 1515-ben. Azonban további közel egy évszázad telt el, hogy a többi elárasztott területet visszanyerjék legelőnek és szántóföldnek. A Stadland-sziget meghódításával együtt a Weser-delta legnagyobb ágát egy 1515-ös megnyílás szakította meg. A következő évtizedekben több vízfolyást is áttöltöttek.



3. ábra. Az Ellensi-gát helye a Jade-öbölben (<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/JadeWeser.png>)
Figure 3. The situation of the Ellens dike in the Jade bay

A XVI. század elejétől Hollandiában számos gát épült a tengeri viharok árvize ellen és azért, hogy szántóföldet nyerjenek. Az Ellensi-gát a Jade-öböl egy részét zárta le a Fekete-Brack iszapszigetei mentén, összekötve a Dél-Oldenburgi földet az Északi-Jeverlanddal (3. ábra). A mintegy négy kilométer hosszú gát áthaladt Ellens- és Ahm-szigeten. A fő gát, az Ellensi-gát, 1596 és 1615 között épült Oldenburg megye irányításával, a gátvonal lerövidítette a korábban megépített gátakat, ez volt az egyik legelső nagyobb összefüggő munka a tenger jelentősebb mértékű visszaszorítására.

A Fekete-Brack egymástól elválasztotta a grófság két részét. A kapcsolat csak a kelet-fríz területeken keresztül volt lehetséges, amely azonban útdíjat követelt. Ezért a tervezte VII. János Oldenburg grófja a gátépítést Ostfriesland (Kelet-Fríz) terület akaratával szemben az egész öbölben. 1593 történt az első lépés, megépült egy északra vezető gát Ellens szigetén át. 1595-ben a két Oberahmer-szigetet a Jever északi oldalához kötötték egy gáttal. 1596-1597-ben egy másik gát épült, ami Jiddingtól a Hiddels-szigeten át az Ellensi-szigetre vezetett, és így kiszáradhatott az Ellensi-szigettől délre eső terület.

Az Ellensi-gát kialakításával kapcsolatban már az építkezés második évében (1597-ben) Ostfriesland kifogást emelt a töltésépítés ellen, majd 1599-ben a Birodalmi Bírósági Kamaránál (Reichskammergericht) az Oldenburgiakat beperelte. A bíróságon bemutatott dokumentumok és az értékes térképek pontosan leírták a meglévő helyeket, azok történelmi múltját. Ostfriesland a kereskedelem, a hajózás és a halászat elvesztésével indokolta panaszát. Az Oldenburgiak az ókori Oldenburg és Jever szárazföldi terület helyreállítására hivatkoztak. A pereskedés elhúzódott, ezért Oldenburgot 1604-ben arra kényszerítették, hogy szüntesse be az építkezést. Az 1612-es évben csak azzal a feltétellel folytatódhatott a kivitelezés, ha az akkori uralkodó, gróf Anton Günther, a per elvesztése esetén kötelezi magát arra, hogy eltávolítja a gátat. Végül a peres eljárás néhány évvel a keresztöltés végleges megépítése után záródott sikeresen, így maradhatott a gát.

A szárazföldi víz kiáramlásának biztosítására két új zsilipet terveztek, egyet a jeveri és egyet az oldenburgi oldalon. Az egyetlen zsilip gondolatát elvetették, mert a megnyílás szükséges szélességét az akkor lehetséges technológia nem tudta megvalósítani. A zsilip évekkel azelőtt épült, hogy a gát bezáródott volna, az első 1603-04-ben készült oldenburgi oldalon. A második a jeveri oldalon 1608-ban épült, de le kellett bontani, mivel a helye nagyon kedvezőtlennek bizonyult. A második zsilipet végül az első közelében helyezték el az oldenburgi oldalon. Csak 1615. július 31-én sikerült az Ellensi-gátat bezárni nagy anyagi ráfordítások mellett.

A több településre kiterjedő összehangolt építkezés méreteit mutatják a következő mennyiségek: A gátépítésen több, mint 1000 munkás dolgozott. Mintegy 100 katona a békét és a rendet biztosította a munka során. A gát számára szükséges földet a Jade-öböl akkori fennmaradt szigeteiről hajóval szállították. Ebből a célból 180 különböző méretű csónakot-hajót használtak. Oldenburg részére a szomszéd városoknak fát és különböző anyagokat kellett szállítaniuk. Anyagként 230000 bokrot, 100000 kerítésoszlopot, 200 szarufát, 120 db 10 és 17 méter hosszú fát és 24 hordót használtak fel. A terület lezárásával kb. 1600 hektár földet nyertek vissza. A XIX. század közepén további intézkedések történtek, hogy a Fekete-Brackot a szárazföldre alakítsák vissza.

Az 1650-es évek előtt a legfontosabb projekt az Ellensi-gát megépítése volt az öböl nyugati oldalán (1596-tól), 1643-ban gátépítés volt a Fekete-Brack területén, és 1643-ban a keleti New Hoben gát kialakítására került sor. Az időközben kialakult nagy áradások jelentősen befolyásolták a munkákat, mert a területen épített gátak nagyon sérülékenyek voltak. (3. ábra)

Az új Ellensi-gátnál a két sziget jelentős stratégiai fontossággal bírt a térségben. Ezért Oldenburg grófja a szigeten két erődítményt emelt, melyben mintegy tucat katona tartózkodott. A harmincéves háború (1618-1648) idején 1622 gróf Ernst von Mansfeld csapatai foglalták el a Kelet-

Fríz területet és emeltetett ott egy sáncot. Röviddel később, Anton Günter gróf tárgyalta a külföldi csapatok visszavonásáról, így aztán fokozatosan visszafoglalták a szigetet és a domb területén az erődöt megnagyobbították. Így a háború alatt már 400 katona volt elszállásolva. 1658-ig északi, nyugati és déli irányba bástyákat építettek. Elkészült egy emelhető híd a hozzá tartozó őrházakkal, valamint laktanya, lóporraktár és raktárépület. Azonban a harmincéves háború a végén, a katonák száma jelentősen csökkent és 1658-tól részben visszabontották az erődöt. Anton Günther halála után pedig azt teljesen lebontották, és egy vámház épült a helyén.

A földvisszaszerzés azonban nem állt meg, még a XX. században is folytatódott. (3. ábra)

DIEFDIJK

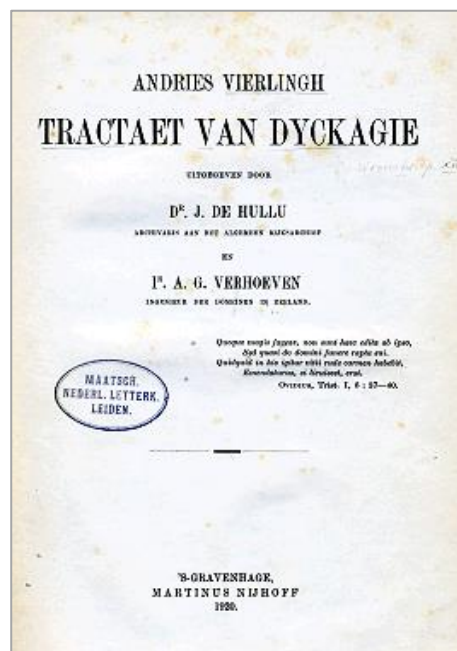
A Diefdijk (Schoonrewoerd mellett) egy közel észak-dél irányú gát, mintegy félúton Utrecht és Tilburg között, messze a víztől, merőlegesen a folyókra. Összeköttetést jelentett a Lek és Linge (a középkorban még a legjelentősebb Rajna-ág volt) folyók között, de a gát egyik oldalán sem volt víz. Az építésének célja a felsőbb helyen keletkezett gátszakadásokból kiömlött víz megállítása volt. A gát 1284-ben épült, utána többször magasították és erősítették. Sokszor megállította a Rajna és a Maas kiömlött árvizét, hogy megelőzze Délnyugat-Hollandia elöntését. A keleti oldalán lévő területet a gát "vízbefolytotta", elnéptelenedett, de a nyugati oldalán lévőket, mint például a legközelebbi települést Leerdamot, megóvta (4. ábra). Így építésének célját elérte, de nem minden alkalommal. Néhányszor a víz ezt a gátat is áttörte. Az utolsó ilyen alkalom 1573-ban volt. A szakadás helyén hatalmas kopolya keletkezett, és a gátat új nyomvonalon, a kopolya vízoldalán állították helyre. A kopolya jelenleg is egy nagy tó, ez a legnagyobb kopolya tó Hollandiában. A holland gátak mellett sok ilyen kopolya van, Diefdijk mellett is három található emlékeztetve a régmúlt idők gátszakadásaira (4. ábra).



4. ábra. A Diefdijk gát Dél-Hollandiában
Figure 4. Diefdijk in south of the Netherland

KÖNYV A GÁTÉPÍTÉSÉRŐL ÉS A POLDER LECSAPOLÁSRÓL

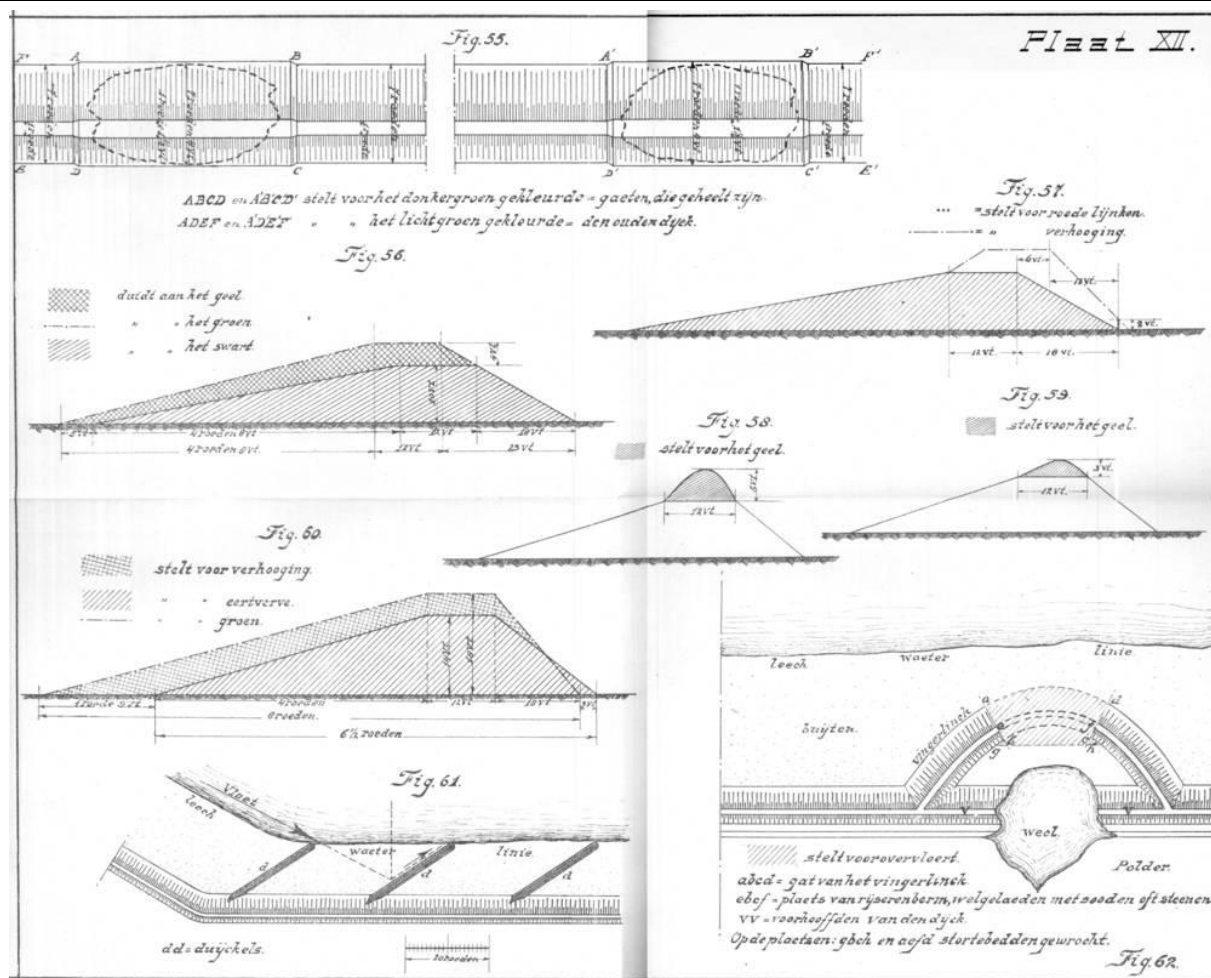
Andries Vierlingh (1507-1579) Hollandiában élt gátépítő és polder alkotó hidraulikus mérnök, aki Bredaban született. Nagyon fiatal korától kezdve ismerte a gátügyeket mind technikai, mind igazgatási szempontból. Fiatalon alkalmazottként dolgozott egy gátgróf (dijkgraaf) mellett. A hírhedt Szent Félix napi árvíz után 1530-ban Walcheren szigetén találta magát az Arne gátszakadásoknál (ahol majdnem ő maga is vízbe fulladt), majd a Zuid-Beveland Verdrongen-vidékre ment, ahol Kreke híressé vált többszörös kopolyáján dolgozott. A XVI. század ötvenes éveiben betöltötte a Hendrikspolder gróf munkáját, ahol 1540-ig már mintegy 4000 hektár földet nyertek vissza. Az emlékirata (Memorie) a Walcheren melletti kiszáradásokról azt mutatja, hogy ellenezte az aktuális rezsim erőszakos beavatkozását. Időnként azonban erőszakkal kellett megállítani az áramlást, különösen Schouwen déli oldalán. Andries Vierlingh műszaki megoldásokat adott a befektetőknek; akik fényes jövőt és pénzt láttak a területi terjeszkedésben. Orániai Vilmos volt az egyikük, aki felkarolta munkáját. Andries Vierlingh leginkább a "Tractaet van dyckagie" című könyvéről ismert (5. ábra).



5. ábra. Andries Vierlingh könyvének fedőlapja az 1920. évi első kiadás

Figure 5. The cover page of Andries Vierlingh's book from 1920 first edition

Röviddel a halálát megelőzően, 1578-ban megjelent Vierlingh kézirata a Tractaet Dyckagie címmel. Könyvként csak 1920-ban jelent meg 543 oldalon, 72 ábrával, míg a reprint 1973-ban, amely még mindig érvényes a föld- és vízgazdálkodás alapvető hibáira vonatkozó figyelemzetésként. Ez a mű egy példa arra, hogy a tapasztalat, a tudással párosulva olyan elméletileg alátámasztott új műszaki megoldásokhoz vezet, ami az emberek boldogulását biztosítja. A könyv részletes útmutatást ad a polderek lecsapolási munkálataival kapcsolatban, kitér a gátak keresztmetszetére, a gátmagasításra, illetve a gátszakadások helyreállítására (6. ábra). Bemutatja a kopolyás gátszakadás helyreállításának lehetőségeit.



6. ábra. Részletek Andries Vierlingh könyvéből, gát magasztása, kopolya helyreállítása
Figure 6. Details from Andries Vierling's book

A RIJKSWATERSTAAT MEGALAPÍTÁSA

1798-ban francia befolyásra növelték az árvízvédelem központi irányítását, megalakították a Birodalmi Vízügyi Szolgálatot, a Rijkswaterstaat-ot, ami hamarosan az árvízvédelem szakértőjévé, szakértő szervezetévé vált. A Rijkswaterstaat jelenleg az Infrastruktúra és Környezetvédelmi Minisztérium része. Feladata az állami munkák végrehajtása és a vízgazdálkodás, magába foglalva a viziutak és szárazföldi közlekedési utak építését és fenntartását, valamint az árvízvédelmi és megelőző művek. A szervezetet szintén bevonták a nagy vasúti projektek megvalósításába. Rijkswaterstaatnak 10 regionális, 6 speciális szolgáltató szervezete van (www.rijkswaterstaat.nl).

FOLYAMI ÁRVIZEK

A XVII. és XVIII. században a hírhedt folyami árvizek számos halálesetet okoztak. Gyakran jégtáblák blokkolták a folyót. A nagy földvisszanyerési munkálatok, a kiterjedt fűzfáultetvények, és a folyó nagyvízi medrében lévő épületek mindegyike súlyosbította a problémát. Sok esetben a vízszint meghaladta a töltés magasságát, meghágás történt. Később sok kifolyási helyet megerősítettek, és az erősebb gátak építésére, valamint a folyóágak vízhozamának jobb megosztására fókuszáltak. Ennek érdekében csatornákat ástak, mint például a Pannerdens Kanaal és a Nieuwe Merwede.

1809-ben a Rajna talán az ország legpusztítóbb árvize (2. kép) vonult le, jelentős kiöntéseket okozva a Maas mellett is. Az elöntés területe Németországtól a Maas és a Waal vidékén keresztül egészen az ország nyugati végéig tartott. Az IJssel folyó völgyének nagy része is megmerült. A gátszakadásokat jégdugók váltották ki, a jégdugó blokkolta a víz szabad átfolyását, a felvizet felduzzadva, a gátat meghágva, majd átszakítva kiöntést okozott.

Az 1809. évi árvíz idején Louis Napóleon, a francia császár testvére volt a király, igaz csak négy évig, azonban rövid uralkodása lényeges változást hozott a kormányzat árvízi szerepvállalásában. A francia uralom óta a kormányzatnak jelentős központi szerepe van a vízgazdálkodásban. Ekkor formálódott és kezdett erősödni a Rijkswaterstaat. 1809-ben a folyami árvizek legnagyobb katasztrófája következett be Hollandiában (2. kép). Körülbelül 100 000 ember szembesült a nagy áradás hatásával, ami 275 halálos áldozattal járt. (Hollandiában a folyó menti árvíz általában csak néhány áldozattal járt, maximum néhány tucattal. Az ezreket-tizezreket elpusztító árvíz a tengerárnál jelentkezett.) Sok volt a sebesült. Két-három ezer ló, tehén és sertés fulladt meg, és legalább 1 000 otthon teljesen megsemmisült. A katasztrófa után bekövetkezett nagymértékű nyomorúság eredményeként az árvízi probléma természetesen mindenki figyelmét magára vonozta.

Louis Napóleon, olyan ember volt, aki mindent elkövetett a királyságáért. Így a folyami problémák sem kerültek el a figyelmét. Jelen volt csaknem minden alkalommal, amikor egy gát átszakadt. Ráadásul rövid négyéves uralkodásának utolsó napjaiban számos előremutató döntést hozott az árvíz problémáinak kezelésére. Ezek közül a fontosabbak a következők voltak:

- Fontos szerepet játszott a folyami árvíz elleni küzdelem új megközelítési módjának kialakításában, ugyanis azt követelte a holland folyamatos szakemberektől, hogy azonnal intézkedjenek a folyami árvizek elkerülése érdekében. Viszonylag rövid idő alatt nagy eredményeket kellett felmutatni, és végrehajtani. A folyómeder módosításával ellentétben a folyó oldalirányú elterelését, a vízhozam megosztását javasolták. Ez volt a hidrológiai mérnökök szakbizottságának egyik legfontosabb ajánlása, amiről tájékoztatták a királyt. Ez az árvíz kezelésének új módja volt. Az elterelés kivitelezéséhez az IJssel folyó mentén 5 és a Linge folyó mellett Asperennél 16 új túlfolyót építettek a gátakba. További 4 túlfolyó készült a Merwede folyó mentén valamint Gorinchem északi részén, még mielőtt a katasztrófa éve véget ért volna.
- A Folyótörvény elfogadása, új, megváltozott jogi szabályozás került kidolgozásra. A folyótörvény hangsúlyozta, hogy a központi kormány, végső felelősséggel tartozik a folyók állapotáról. A törvény legfontosabb célkitűzése a folyóknál a vízvezetési kapacitás további romlásának megakadályozása volt. Megtiltottak bármilyen olyan munkát, amely növelné a folyó vízvezető képességének csökkenését. Ilyet csak a Rijkswaterstaat engedélyével lehetett végezni. A folyómeder, a folyóágy feltöltése szintén nem engedélyezhető. Ezenkívül a törvény kimondta, hogy azokon a területeken, ahol nincsenek gátak vagy rakpartok, engedély nélkül nem lehet ilyeneket építeni és szabályozni a parti sávot. Az engedély nélkül épített munkákat a tulajdonos költségén kell eltávolítani. A törvény megsértése esetén 600 gulden bírságot szabtak ki.
- A Diefdyke gát (ld. az 1573. évi árvíznél, valamint a 4. ábrán) vonalának a megerősítése.
- Az 1809-es árvíz katasztrófa után a Linge folyón megkezdett munkálatoknak, a folyó oldalirányú elterelésének kivitelezése, zsilipek építése a Lek folyó mentén Culemborg mellett és Gorinchem melletti Merwede gáton. Az 1809 utáni években nagyléptékű gáterősítési munkák kezdődtek az árvíz hatására (*Floodsite project 2006*). Ugyanakkor kiderült, hogy a folyók elterelése, mint az éppen aktuális tervezési irány enyhíti a még erősen uralkodó szkepticizmust, ami a folyók szabályozására és az árvízvédelem megoldására való országos képességet illette. Ezt a kétséget azonban tovább erősítette a francia uralkodás időszakát követő általános társadalmi-politikai klíma. Az európai restauráció éveiben (1814 - 1830), sokan hajlamosak voltak elfordulni a felvilágosodás főbb eszményeitől és a korábbi nézetek egyre inkább előtérbe kerültek minden területen. Ez alól a folyópolitika sem volt

kivétel, a folyók szabályozásának hagyományos megközelítése a meder vízvezető képességének javítása újra előtérbe került. A restauráció eredményeként például még I. Vilmos királynak nem sikerült újjáélesztenie az 1810-es gát-törvényt.



2. kép. A Rajna kiöntése 1809-ben az utóbbi ezer év egyik legnagyobb folyami árvize volt Hollandiában

Picture 2. Rhine flood in 1809, one of the largest river floods was in the last thousand years

GÁTSZAKADÁSOK

Az ismert árvizekről körülbelül ezer év távlatában vannak értékelhető információk Hollandiában. Évszázadokon át Hollandia számított a gátépítés példaképeinek és még ma is a Rijkswaterstaat a legnagyobb hatóság az országban. A gátak azonban sok esetben nem elégitették ki műszaki jellemzőik alapján a természet által elvárt igényeket. Erről tanúskodik az 1735. évi gátszakadás, ami 1134. és 2006. közötti időszakban kialakult (*van Baars, és van Kempen 2009*). Az 1., 2. és 3. képek a gátszakadások után visszamaradt kopolyákat, illetve a kopolya elkerülésével megépített árvízvédelmi gátakat mutatnak. A fényképek és űrfelvételek lehetővé teszik a gátszakadások méretének felmérését, azok jellemző méreteinek meghatározását. A 3. kép jól mutatja a kopolyából kimosott talaj szétterülését.



3. kép. Az Overslag-i kopolya (hollandul kolk) Betuweben, ember indukálta gátszakadás a második világháború alatt

Picture 3. Scour pit (kolk in the Netherland) at Betuweben, as a man made dike breach during the WW II

XX. SZÁZADI KATASZTRÓFÁK

1916. január 13. és 14. közötti árvíz katasztrófa a Zuiderzee környezetében több tucat gátszakadással járt (4.

kép). 1891-ben Cornelius Lelynek a híres holland vízépítő mérnöknek már volt egy terve a Zuiderzee bezárására, de addig kellett a terv megvalósulásával várnia, amíg az idő megérett rá. Ez a pillanat a 1916. évi árvízkor jött el, amikor a környező településeket és városokat az árvíz elöntötte. Lely lett a közmunkákért felelős miniszter, és megvalósíthatta tervét. Már 1918-ban a Zuiderzee kivitelezési munkái megkezdődtek: beindult a gát építése és a terület-rehabilitációs munkák. A project 1932-re készült el. 1927 és 1932 között készült el a zárógát, mely a Zuiderzee-t az IJsselmeerré (a Déli-tengert IJssel-tóvá) változtatta.



4. kép. A Zuiderzee elöntése 1916-ban
Picture 4. Flood in 1916



5. kép. Az 1953. évi árvíz, gátszakadás az IJssel melletti Ouderkerknél

Picture 5. Dike breach at Ouderkerk during the flood of 1953

1953. január 31. és február 1. éjjelén az árvíz Hollandiában volt a legsúlyosabb, mely 1 836 halottat követelt (Angliában 307 áldozat, Belgiumban 22), 64 helyen több, mint 400 gátszakadás történt. További károk röviden: 200 000 szarvasmarha veszett oda, 200 000 ha termőterület került elöntésre, 3 000 ház és 300 farmot rombolt le a víz, 40 000 ház és 3 000 farm károsodott, 72 000 embert evakuáltak, 139 km gát súlyosan károsodott. Az utolsó tengeri árvíz, ami Hollandiát sújtotta február elsején a kora reggeli órákban, több száz helyen szakította át a parti gátakat Zeeland, Brabant és Dél-Hollandiában (5. kép). Közel 8 %-a (1 500 km²) a szárazföldnek került elöntésre. A katasztrófa nem mindenkit lepett meg. Johan van Veen, egy mérnök a Közmunkáknál a későbbi Delta Terv megalapítója már 1946-ban készített egy jelentést, melyben leírta a gátak állapotát. Az 1946-ban kifogásolt állapotú gátak

nagy része átszakadt 1953-ban, így nem sokkal a háború, és az azt követő újjáépítés után a gátak kerültek az országos figyelem központjába. Az árvíz végül a Delta tervhez, illetve a Delta Munkák kivitelezéséhez vezetett. Ugyancsak ez az árvíz alapozta meg Hollandia folyami árvízi gát-építését is. A Delta Munkák kezdete 1958 volt. (Wikipedia)

Az 1953-as nagy áradás és az 1962-es németországi tengerparti árvíz után a gátakat többször is megmagasították. Azóta a Rajna-Maas-Schelde-deltában, valamint a német partszakasz több más folyótorkolatában és öblözetében megerősítették a partvédelmet. A part természetes élővilágának a lehető legnagyobb mértékű megőrzése érdekében a védműveket igyekeztek úgy kialakítani, hogy a szokásos tengerjárásnak részben vagy egészben utat engedjenek, és csak vihardagálykor zárják be őket.

Az Északi-tenger sekély partszakaszain a partvédelem több szinten van kialakítva. A gát előtti terület már magában valamelyest csökkenti a tenger erejét, amivel a gátra lecsaphat. Amennyiben a gát közvetlenül a tenger mellett található, akkor különösen meg kell erősíteni. Az évszázadok alatt a gátak magassága egyre nőtt, elérí akár a 10 méteres magasságot is, ugyanakkor a lehető laposabb profilt kapott, hogy a hullámok erejét jobban gyengítse. A modern gátak akár 100 méter talpszélességűek is lehetnek, melyek mögött szervizút fut és a mögöttes terület ritkán lakott. A régebbi gátakat e mögöttes területeken sok helyen megtartották a védelem kiegészítéseként, de máshol elbontották őket, mivel a mocsaras polder területeken maga a föld is nagy értéket képvisel.

1986-ban elkészült a Delta Works 13 gátja közül a legambiciózusabb nyitható kapu a Schouwen-Duiveland és a Noord-Beveland szigetek között, amit arra terveztek, hogy megvédje dél Hollandiát az Északi-tenger áradásától. Eredetileg ez a 9 km hosszú gát egy zárógát lett volna, azonban a tiltakozások hatására mozgatható gát épült négy kilométeren keresztül. Ezeknek a kapuknak alapállapota, hogy nyitva vannak, de a vízszint emelkedéssel bezárják azokat. A gát 65 darab 18 000 tonnás 35 méter magas beton pilléren nyugszik. 62 acél kapu teszi lehetővé a vízáramlást. Minden kapu 42 méter széles. A gátat 200 éves visszatérési idejű árvízre tervezték.

Egy bizottság 1977-ben beszámolt a gátak gyengeségéről, kiemelve a korábbi gáterősítések és magasítások hatására a gátba beépült régi épületek (6. kép) elbontását, a kanyargó gátak kiegyenesítését, valamint a gátak erősítését. A helyi lakosság túlságosan ellenállt a házak lebontásának, így ezt elvetették. Az árvízveszély ilyenén történő csökkentését 1993-ban és 1995-ben ismét el kellett vetni. Ami megvalósulhatott az a biztonság szint növelése.

1993. és 1995. években nagyvíz volt a folyókon, de a gátak tartották a vizet! Az 1993-as magas vízszint meglepetésként jött. A Meuse-völgyben Limburgban mintegy 180 km² földterület lett elárasztva, nyolcezer embert evakuáltak és hatezer ház megsérült. (Boetzelaer és Schultz 2005) A vízben lévő házak képei olyan területen készültek, amelyet nem védtek gátak: itt a víz a Meuse a természetes völgyében áramlott.



6. kép. Több ezer házra a gát ráépült a mentett oldali erősítések következtében

Picture 6. Some thousand houses are near the dike, after a number of dike reconstruction programs

Különösen az 1995-ös áradások tartották Hollandiát izgalomban, ugyanis Ochtenben a Waal folyó gátja fenyegedett összeomlással. Úgy tűnt, hogy abban az időben ez az árvízvédelmi gát nem felelt meg az előírásnak: ennek a gátnak ellen kell állnia az 1250 évente előforduló valószínűségű árvízi terhelésnek. A valóságban az 100 éves előfordulási valószínűségű áradás is már kritikus helyzetet eredményezett. 1995-ben országos döbbenetet váltott ki a katasztrófa közeli állapot (7. kép). Ettől kezdve az új szabványt a gát megerősítésére "normatív magas vízszintnek" vagy NHW-nek nevezték (TAW 1998). Összesen 550 km gátat kellett megerősíteni, aminek a befejezés céldátuma 1998 volt. (Boetzelaer és Schultz 2005)

Közvetlenül az árvíz után a holland parlament elfogadta a nagy folyókra vonatkozó Delta Tervet (Delta Plan Large Rivers). Néhány éven belül a gátakat évi 1250 éves előfordulás biztonsági szintjére emelték. Továbbá a falvak és a városok részeit a Meuse mentén, gátakkal védték be. Ezek a gátak 250 éves visszatérési valószínűsége lettek kiépítve. Az 1993-as és az 1995-ös nagyvizek azt mutatták, hogy a Rajna 1250 évesnél nagyobb valószínűséggel előforduló vízhozama megfelelően konzervatív megoldást jelent.

A Hollandiában a folyók régiójában a lakosok 1993-ban és 1995-ben konfrontálódtak a folyó okozta veszéllyel. Szerencsére a gátak tartották magukat, de a vízszint extrém magas volt így Limburg megyében több várost elöntött a megemelkedett talajvíz és a hóolvadás együttes áradata. Mintegy negyed millió embert kellett evakuálni azokról a helyekről, ahol nem voltak gátak. Megállapították, hogy az extrém magas vízhozam egyre gyakrabban fog előfordulni a jövőben, ezért biztosítani kell a folyó nagyobb vízvezető képességét (TAW 2000). A kormányzat elfogadta a „helyet a folyóknak” programot 2007-ben (Rijkswaterstaat 2011). Ez a terv három alapon nyugszik:

- 2015-re a folyóágak vízszállító kapacitásának el kellett érnie a 18 000 m³/s;

- a biztonság növelése érdekében végrehajtott intézkedések javítsák a folyó-régió általános környezeti minőségét;
- extra terület szükséges a folyóknak, hogy az elkövetkezendő évtizedekben megbirkózzanak az előrejelzett éghajlatváltozások miatti magasabb vízhozamokkal.



7. kép. Az 1995. évi árvíz, a víz közel a koronához a Rajna mentén (Slomp 2012) katasztrófa közeli állapot alakult ki

Picture 7. The water level near the dike crown in the time of the 1995 year flood (Slomp 2012)

Az idők szavát meghallva további két tervvel ált elő a holland vízügy a harmadik évezredben:

- 2010-ben bejelentették az Új-Delta tervet, ami a klímaváltozásra alapulva tekint előre.
- 2015-ben fejlesztési tervet fogadott el a parlament az Afsluitdijk (az Északi-tengert az IJsselmeertől elválasztó gát) megerősítésére. Ennek a becsült költsége 850 millió €. A 32 km hosszú zárógát 80 éves fennállása alatt veszített ellenállóképességéből és nem elégíti ki a szabványi előírásokat. Ugyancsak a terv része egy öt kilométer hosszú hallépcső, ami elősegíti a halak vándorlását, és egy Európában egyedülálló kapacitású szivattyútelep megépítését 400 m³/s vízhozammal.

PARTVÉDELEM

Hollandiában a tengeri árvizek humán veszélyeztetése magasabb, mint a folyami árvizeké. Különösen heves tengeri árvizek voltak a X.-XIV. századok között. Ekkorra már bizonyos eredményeket ért az árvizek elleni védelem, de még nem voltak megfelelő méretűek és ellenállásúak a védművek. A legpusztítóbb tengeri árvizeket az 1. táblázat mutatja be.

A Németalföldet évezredek óta sújtják az áradások, különösen sok áldozattal járt, amikor az Északi-tengeri szél hatására felkorbácsolt hullámok elöntötték a sík területet. Egyes történészek szerint a tegevár kicsapásának hatására indult meg a germán törzsek délre áramlása (kimberek, teutonok, ambronok és más népek), melyet az időszámítás előtti első század fordulóján Gaius Marius (157-86 kre.) tartóztatott fel. A tengerárak valószínűleg hasonló frekvenciával pusztítottak az első évezredben, mint az utána következő évszázadokban, csak ezekről nagyon töredékes írások vannak. A tengerárak pusztításáról az első hiteles feljegyzések az első ezredforduló környékéből származnak. Az időjárási eseményeket Gottschalk (1971, 1975, 1977) műveiből ismerhetjük meg.

1. táblázat. A tíz legsúlyosabb tengerparti árvíz
Table 1. The ten most destructive storm surges flood

Árvíz	Hely	Időpont	Áldozatok
St. Stephen árvíz	Friesland, Groningen	838. december 26.	2 437
St. Michael árvíz	Zeeland és Flandria	1014. szeptember 29.	ezrek
Tengeri földrengés árvize	Zeeland	1134. október 1.	ismeretlen
St. Juliana árvíz	Északi part	1164. február 17.	ezrek
	Észak-Hollandia	1212.	60 000
St. Lucia árvíz	Friesland, Groningen	1287. december 14.	50 000+
St. Elizabeth árvíz	Flandria, Zeeland és Holland	1404. november 19.	ismeretlen
Második St. Elizabeth árvíz	Zeeland, Holland és Flandria	1421. november 18.	10 000+
Mindenszentek árvíz	Zeeland	1570. november 1.	20 000
Karácsonyi árvíz	Northeast coast	1717. december 25.	14 000
1953. évi árvíz	Zeeland és Flandria	1953 február 1.	1 836

A partvédelmet segítik a dűnék is. Egyes helyeken, különösképpen a holland partszakaszon Hoek van Holland és Den Helder között ezek jelentik az egyetlen védelmet. Másutt, mint például Zeelandban és némelyik Észak-Fríz szigeten a dűnéket gátakkal erősítették meg. Ezeket manapság homoknáddal telepítik be, hogy így akadályozzák meg a víz és szél által okozott eróziót, valamint a dűnék vándorlását. Különösen nagy erőfeszítést igényel a delta-torkolatok védelme Hollandiában és a homokos part megőrzése Sylnél.

A hollandiai tenger árvizek bemutatásánál nem szabad elfelejteni, hogy hasonló tengerárral kell megküzdeniük a szomszéd országoknak is Belgiumnak és Németországnak, sőt Dániának és Angliának. Belgium tengerparti kiépítése a Sigma Project az 1972. évi árvíz után kezdődött, és 512 km gátat kell megerősíteni. Németországban az 1962. évi árvíz 337 áldozattal járt, 141 gátszakadáson keresztül öntötte el a tengervíz Hamburgot és a környező településeket.

HANSJE BRINKER

A holland árvízvédelem meghatározó története, hogy Hansje Brinker nyolcéves kislány az ujjával tömte be a gáton a csurgást árvíz idején, amíg segítségért kiabált. A történet jól mutatja, hogy a hollandok már gyerekkorukban is tisztában voltak az árvíz veszélyességével. Bár vannak, akik szerint csak egy mese, de akkor is kiválóan megfelel annak, hogy a gyermekek figyelmét ráirányítsa az árvízvédelem fontosságára. A történetet számos gyermek-könyv feldolgozta, sőt egy szobor is készül a történet kulcsepizódjáról (8. kép), melyet Hartlingenben lehet megtekinteni.



8. kép Hansje Brinker szobor Hartlingenben
Picture 8. Hansje Brinker sculpture in Hartlingen

ÖSSZEFOGLALÁS

A gátépítés hosszú holland tradíciójára történő rátekintés mutatja annak a kultúrába történő mély gyökerű beágyazódását. A történelmi események szerint akár egy nagy árvíz vagy egy kis kukac, de a nemzeti boldogulásba vetett hatalmas hit konzekvenciákhoz és az árvízvédelmi rendszer összeomlásához vezethet.

Hollandia fejlett vízgazdálkodással rendelkező ország, mely megtapasztalta az árvizek szenvedését, kitanulta az árvizek viselkedését és adekvát válaszokat ad ezekre a kihívásokra. Az évszázadok alatt felgyülemlett árvízi tapasztalatok alapján a fejlesztéseket a folyó- és területgazdálkodással, valamint más vízgazdálkodási ágakkal harmonizálva végzi.

Bepillantva a történelmi múlt eseményeibe az mondható, hogy az irásbeliség fejlettsége összekapcsolódott az árvíz elleni védelemmel és a politikai környezettel. Csak a cikkben bemutatott néhány szempontot összehasonlítva a hazai eseményekkel, megállapítható az a kulturális örökség, ami a vízgazdálkodás 800-1000 éves történetét jellemzi.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a BME FIKP-VÍZ tématerületi programja keretében.

IRODALOMJEGYZÉK

Boetzelaer, M. és Schultz, B. (2005). Historical Development of Approaches and Standards for Flood Protection along the Netherlands Part of the Rhine River. ICID 21st European Regional Conference 2005, 15-19. May 2005, Frankfurt (Oder) and Slubice, Germany and Poland, Integrated Land and Water Resources Management in History, ISBN 3-8334-2463-X.

Floodsite (2006). Flood Risk Analysis for the River Scheldt Estuary. Report Number T25-06-01, Revision Number 1_0_P01, Co-ordinator: HR Wallingford, UK.

Gottschalk, M.K.E. (1971, 1975, 1977). Stormvloed en rivieroverstromingen in the Nederland, Deel I, II en III (Storm surges and river floods in the Netherlands, part I, II and III), Van Gorcum, Assen, The Netherlands, ISBN 90-232-0717-3, -1193-6 and -1491-9.

Kuks S. (2002). The Evolution of the National Water Regime in the Netherlands. University of Twente (UT),

Center for Clean Technology and Environmental Policy (CSTM).

NHV Netherland Hydrological Society (2004). *Water in the Netherlands, managing checks and balances*. DrukZaken Rotterdam, ISBN 90-803565-6-5.

Rijkswaterstaat (2011). *Water Management in the Netherlands*.

Slomp R. (2012). *Flood Risk and Water Management in the Netherlands*.

TAW (1998) (TAW = Technical Advisory board Water barriers). *Grondslagen voor waterkeringen* (Foundation rules for water defence systems), Balkema, Amsterdam.

Technical Advisory Committee on Water Defences (TAW) (2000). *Towards a new safety approach. A calculation method for probabilities of flooding*. Delft, the Netherlands.

Van Baars, S., and Van Kempen, I.M. (2009). *The Causes and Mechanisms of Historical Dike Failures in the Netherlands*. E-Water, Official Publication of the European Water Association (EWA), ISSN 1994-8549.

A SZERZŐ



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

Nekrológ



2019. február 4-én, életének 82. évében elhunyt Dulovicsné Dr. Dombi Mária.

Középiskolai tanulmányai alapján magasépítő technikus oklevelet szerzett 1955-ben Pécsen, a Pollack Mihály Magas-építőipari Technikumban. Budapesten az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetemen (ÉKME) okleveles mérnökként végzett 1960-ban, amely egyetemen - már Budapesti Műszaki Egyetem (BME) név alatt - okleveles építési gazdasági mérnök diplomát is kapott 1970-ben. Műszaki doktor disszertációját szintén a Budapesti Műszaki Egyetemen védte meg 1972-ben.

Munkássága a hazai felsőoktatáshoz kapcsolódik, a vízellátás- csatornázás témakör köré csoportosul. Három éves tervezői gyakorlat után (Kohó- és Gépipari Minisztérium Tervező Iroda Telepítési főosztály), 1963-ban az ÉKME (később BME) Vízgazdálkodási Tanszékén helyezkedett el, ahol tanársegéd, majd adjunktus. Részt vett a vízellátás és csatornázás oktatásának megszervezésében, és a többek által írt, és Öllös Géza által szerkesztett „Vízellátás és Csatornázás Tervezési Segédlet” csatornázási fejezetének megírásában.

Az Ybl Miklós Építőipari Műszaki Főiskolán 1970–1971 között az általa alapított Mélyépítési Tanszéken, majd 1971–1987 között az ugyancsak általa megalapított Közműépítési Tanszéken főiskolai docens (1972), majd 1982-ben, főiskolai tanárként a Tanszék vezetője. A későbbiekben, 1987-ben az integráció során összevont Közmű- és Mélyépítési Tanszéken a Közműépítési szakcsoport vezetését látta el. Itteni munkásságához tartozik a közműfenntartási-, továbbá a környezetgazdálkodási-, valamint a fürdőüzemeltetési szakmérnök-képzések akkreditációja, megalapítása és több évtizeden keresztüli vezetése.

Dulovicsné Dr. Dombi Mária

Szeged, 1937. febr. 9. - Budapest, 2019. febr. 4.

2001-től, a közben a Szent István Egyetembe (SZIE) integrált Ybl Miklós Építéstudományi Kar oktatási főigazgató-helyetteseként megszervezte a Kar kreditrendszerű oktatását.

2007-től Professor Emerita a SZIE Közmű- és Mélyépítési Tanszékén. A 2012. év végével oktató munkáját befejezte.

Elsődleges küldetésének tekintette a jövő mérnök generációinak felnevelését, szakmai pályájuk megalapozását. Hivatása volt az oktatás és ezeket a feladatait, vállalásait rendkívüli alaposággal és a szakma iránti alázattal teljesítette. Szak-területén oktatói tevékenysége iskolateremtő volt.

Több egyesületnek, szakmai társaságnak és szövetségnek tagja volt. Így pl. alapítója volt a Magyar Szennyvíztechnikai Szövetségnek (MaSzeSz) és a Magyar Mérnöki Kamarának (MMK). Tagja volt a Magyar Tudományos Akadémia Vízgazdálkodási-tudományi Bizottsága Vízellátási és Csatornázási Bizottságának, vezetője az Oktatási Bizottságnak.

Vízellátás, csatornázás, szennyvízelhelyezés, vízvédalom, közművesítés területén több mint 100 publikációja jelent meg, nevéhez köthetők szakkönyvek, egyetemi jegyzetek. Férje halála után, 2016-ban átvette a MaSzeSz Hírcsatorna című periodikájának szerkesztői feladatait.

Vezető tervezőként és vízügyi szakértőként a víziközművekkel kapcsolatos szakterületen számtalan terv és tanulmány fűződik nevéhez. Mérnöki tudományos és oktató munkája révén a hazai víziközmű szakma egyik meghatározó személyisége volt.

Munkásságát számos szakmai kitüntetéssel ismerték el, többek között birtokosa volt a Magyar Köztársasági Érdemkereszt ezüst fokozatának (2003), „A Magyar Felsőoktatásért” Emlékplakettnek (2007) az MMK Zielinski Szilárd-díjának (2016), valamint a Belügyminisztérium Vásárhelyi Pál díjának (2017). 2018-ban kiérdemelte a víziközmű szakma legrangosabb elismerését, a Magyar Víziköz-mű Szövetség (MaVíz) Reitter Ferenc díját.

Társaságunknak 1970 óta tagja, három cikluson át, 1990–1999 között az MHT Oktatási Bizottságának elnöke volt. Munkáját a Magyar Hidrológiai Társaság Pro Aqua Emlékéremmel (1994), Bogdánfy Ödön Emlékéremmel (2001) és Tiszteleti tagsággal (2008) ismerte el.

Emlékét kegyelettel megőrizzük!

Fejér László
MHT Vízügyi Történeti
Bizottság elnöke

Dr. Szilávik Lajos
az MHT elnöke

Nekrológ



Életének 94. évében elhunyt Dr. Szigyártó Zoltán, vasdiplo-más okleveles mérnök, a műszaki tudomány doktora, címzetes egyetemi tanár. A *Magyar Hidrológiai Társaság* tiszteleti tagja és a *Magyar Mérnöki Kamara* örökös tagja.

Dr. Szigyártó Zoltán szakmai munkáját a múlt század negyvenes éveinek a végén, az akkori Budapesti Műszaki Egyetem *Németh Endre* professzor által vezetett I. Vízépítési Tanszékén, először demonstrátorként kezdte, majd diplomájának megszerzését követően ugyanott, mint tanársegéd folytatta. Akkoriban a Tanszék oktatási területe a vízépítés igen széles területét ölelte fel, s ide tartozott a hidrológia, az ármentesítés és árvízvédelem, a mezőgazdasági vízgazdálkodás, a vízellátás, a városi csatornázás és a szennyvíztisztítás, továbbá a hidromechanika oktatása is. A Tanszéken dr. *Salamin Pál* adjunktus (a későbbi egyetemi tanár) irányítása mellett akkoriban indultak meg a Tanszék munkaterületéhez igazodó kutatások is.

Mindez azután rányomta a bélyegét egész további szakmai pályafutására. Bár mindig otthonosan mozgott a vízépítés gyakorlati munkáinak, így a tervezésnek és a kivitelezésnek a területén is, alapvető tevékenységének mégis a kutatást, s a különböző gyakorlati igények kielégítését szolgáló berendezések létrehozását és a szervezéssel foglalkozó mérnöki fejlesztő munkát tekintette. Emellett egész pályafutása során időről-időre visszatért az első munkahelyének a munkaterületéhez tartozó hidrológia, hidraulika, mezőgazdasági vízgazdálkodás és ármentesítés időszerű problémáinak a megoldására. Végül egész szakmai tevékenységét alapvetően befolyásolta az is, hogy fiatal mérnökként felkeltette az érdeklődését a matematikának az a területe, amely nem a mérnöki problémák megoldásánál szokásos módon, az ok és okozati összefüggések feltárásával, hanem az ezek meghatározása során figyelmen kívül hagyott tényezők hatásának vizsgálatával foglalkozik. Tehát így lett aspiránsi tanulmányainak egyik fontos célja a valószínűség-elmélet és a matematikai statisztika elsajátítása. Az e téren szerzett is-

Dr. Szigyártó Zoltán

Budapest, 1926. február 9. - Budapest, 2019. június 11.

mereteire támaszkodott aztán a „Statisztikai törvényszerűségek a csapadék évi járásában” (1958) című kandidátusi disszertációjának a megírásánál, s az ide vágó stochasztikus folyamatokkal kapcsolatos törvényszerűségek figyelembevételével dolgozta ki a „Vízhozam hullámképek meghatározása valószínűség elméleti alapon” című doktori értekezését is, aminek megvédésével (1982) az MTA műszaki tudományok doktora lett.

1955-ben kerül a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézetbe, ahol először kutatóként, majd a VITUKI igazgatója mellett műszaki titkárként, később tudományos osztályvezetőként dolgozott. A Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ tudományos tanácsadójaként 1986-ban ment nyugdíjba Ezt követően, 1992-ig, mint nyugdíjas továbbra is a VITUKI-ban dolgozott változatlan munkakörben, majd a vízrajzi munka fejlesztésével, a vízrajzi létesítmények tervezésével és ezek kivitelezésével kapcsolatos munkák elvégzésére megalapította a Dr. Szigyártó Mérnöki Iroda Egyéni Céget, mely 1998-tól Kft.-ként működött és ennek 2003-ig ügyvezetője volt.

A vízügyi szolgálatában kifejtett 65 éves munkásságának mintegy összefoglalásaként 2016-ban az OVF gondozásában megjelent „Hatvanöt év a magyar vízügy szolgálatában – szemelvények dr. Szigyártó Zoltán kutatási eredményeiből” című életmű kötete. A könyv az életében megjelent 205 db tanulmányának, cikkének, és könyvének válogatott gyűjteménye. A válogatásban, a gazdag életműből, azokat a tudományos munkákat olvashatjuk, amelyek a mérnöki munka során ma is iránymutatók, illetve hasznosíthatók, kiemelkedő értékkel bírnak. Az utóbbi mintegy 20 évben szinte kizárólag a Tisza nagyvízi vízjárásával és a Vásárhelyi terv továbbfejlesztésének kérdéskörével foglalkozott.

Munkásságát számos szakmai kitüntetéssel ismerték el, többek közt birtokosa a KvVM Vásárhelyi Pál-díjának, 90. életévében pedig életművének elismeréseként megkapta a Magyar Érdemrend Tisztikeresztje Polgári Tagozat című kitüntetést.

1949-ben mint egyetemi hallgató kapcsolódott be Társaságunk munkájába és 70 éven át végzett az MHT-ban aktív munkát. 1958–1971 között a Hidraulikai és Mezőgazdasági vízgazdálkodási szakosztály titkára, 1980–1990 között a szakosztály elnöke. Több cikluson keresztül elnöke volt a Társasági Díjak Bírálóbizottságának, a Kitüntetések Bizottságának, a Vitális Sándor szakirodalmi nívódíj bizottságnak. Az MHT elnökségének 1971-től több mint 40 éven át volt tagja. Társaságunk utóbbi fél évszázadának kiemelkedő alakja, a társasági munka egyik motorja volt.

Emlékét kegyelettel megőrizzük!

Dr. Váradi József
az OVF Vízügyi Tudományos Tanács elnöke
a Magyar Hidrológiai Társaság alelnöke

Könyvismertetés

Szlávik Lajos, a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke bemutatja a Társaság által alapított kitüntetésekkel díjazottak lexikonát. A kiadvány a Társaság 100. évfordulójának évéig, 2017-ig adja meg a kitüntetettek rövid szakmai önéletrajzát.

2017-ben ünnepeltük a Magyar Hidrológiai Társaság megalakulásának 100. évfordulóját. Társaságunk a működésének kezdetétől fogva fontos feladatának tekintette a kimagasló eredményeket felmutató szakemberek elismerését, különböző díjak és kitüntetések révén. A díjak, elismerések odaítélésére alakított bizottság évente választja ki a szabályzatunkban rögzített elvek és szempontok szerint a megfelelő jelölteket, akiket ezután az Elnökség javaslatára a Közgyűlésen részesítünk kitüntetésben. A személyek kitüntetésének szabályzatát a Társaság ügyrendjének egyik melléklete tartalmazza, melynek legutóbbi változatát a Társaság Elnöksége 2016-ban fogadta el.



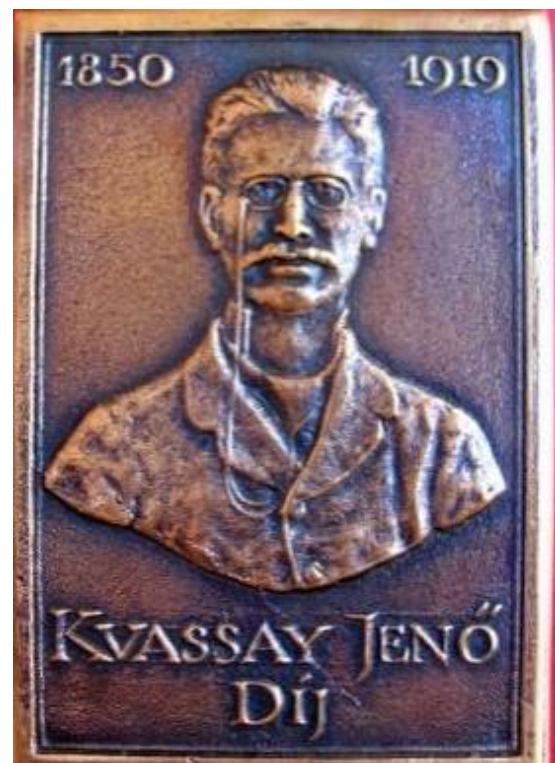
A Magyar Hidrológiai Társaság az általa alapított kitüntetésekkel a Társaság rendes tagjainak és köztisztviselőiben álló egyéb személyiségeknek, a magyar vízügy egésze, annak egyes részterülete, továbbá a szakma fejlődése, a Társaság érdekében végzett kiváló szakmai és szervező munkáját, illetve kiemelkedő érdemeket szerző pártoló együttműködését kívánja elismerni. Ennek érdekében a Társaság az arra érdemes szakembereknek és személyeknek *tiszteleti tag* címet adományoz, őket *Kvassay Jenő-díj*-ben részesíti, számukra *Dr. Schafarzik Ferenc, Bogdánfy Ödön, Pro Aqua-émlékérem*, illetve *Vitális Sándor szakirodalmi nívódíjat* adományoz.

Az MHT legrégebbi, 1929-től adományozott kitüntetés a *Tiszteleti tag* cím adományozása. Első kitüntetettje az a Marenzi Ferenc Károly volt, aki a hidrológiai szakosztály megalakítását 1916-ban kezdeményezte. 1929-2017 között 175 személy lett a Társaság tiszteleti tagja. Impozáns e névsor, amely feltünteteti számunkra az elmúlt évszázad szakmatörténetének kiemelkedő, meghatározó személyiségeit! Külföldi állampolgárnak először 1961-

ben adományoztak tiszteleti tag címet. 1961-2019 között 87 személy lett a Társaság *külföldi tiszteleti tagja*.



A *Kvassay Jenő-díj*at a Társaság 1992-ben – az akkor állami kitüntetéssé vált, s így társasági kitüntetésként megszűnt Vásárhelyi Pál díj helyett – alapította. A Társaság első alkalommal 1993-ban adott ki *Kvassay Jenő díj*at, melyet 2017-ig 35 személy nyert el.



A Magyar Hidrológiai Társaság – mint a Magyarhoni Földtani Társulat Hidrológiai Szakosztályának jogutódja – folyamatosan fenntartja a Társulat Hidrológiai Szakosztálya által 1942-ben alapított *Dr. Schafarzik Ferenc-émlékérem* adományozását. A Társaság az emlékéremet először 1943-ban adta ki; eddig 95 személy kapta meg.



Az MHT 1951-ben alapította az alapító titkáráról, egykori elnökéről elnevezett *Bogdánfy Ödön-émlékérmét*. 1951-2017 között 128 tagtársunk részesült eddig ebben az elismerésben.



A Társaság 1951-61 között több emléklapot alapított, melyek adományozásával egyes szakterületek (balneológia, limnológia, csatornázás-szennyvíztisztítás, vízépítés, vízgazdálkodás, vízellátás-víztisztítás, hidrogeológia, hidrológia-hidraulika) kiemelkedő szakembereinek munkásságát kívánta elismerni, az érintett szakosztályok javaslata alapján. A társaság ezeket – a Társaság szakmai tagozódásához igazodó sokfajta – emléklapokat 1974 után megszüntette és helyettük 1976-ban megalapította a *Pro Aqua-émlékérmét*. 1977-2017 között a Társaság 485 arra érdemes tagját részesítette ebben az elismerésben.



A Magyar Hidrológiai Társaság 1979-től *Vitális Sándor Szakirodalmi Nívódíjat* adományoz. A szakirodalmi nívódíj célja, hogy ösztönözzön a Magyar Hidrológiai Társaság munkaterületén végzett magas színvonalú, újszerű munka eredményeit bemutató, igényes szócikkek írására; ezúton is elősegítve az új, hatékony módszerek, eljárások elterjesztését. 1979-2017 között 78 szócikk összesen 175 szerzője kapott önálló vagy megosztott nívódíjat.

A Társaság 75 éves fennállásának évében, 1992-ben jelentette meg első ízben a kitüntetettek, díjazottak jegyzékét, majd pedig 2000-ben a Magyar Hidrológiai Társaság kitüntetettjeinek újabb kiadványát. Centenáriumunk alkalmából, kétéves szerkesztői munka eredményeként tesszük le tagjaink elé az újabb, immár harmadik kiadást, amely – döntően – a 2017. évi állapotnak megfelelően mutatja be Társaságunk több mint 800 egykori és jelenlegi kitüntetett tagját, ezúttal már – ahol csak lehetett – fényképes illusztrációval. Elköteleztettek vagyunk abban, hogy a hazai műszaki-természettudományos szakemberek munkásságát népszerűsítsük, országépítő alkotásaikra, közösséget formáló tevékenységükre – ha áttételesen is – ráirányítsuk a közfigyelmet. Szándékunk, hogy az évszázados történetünk során a Társaságban tevékenykedő sok ezrenyi tagunk közül a legkiemelkedőbb munkát végzők teljesítményét, életútját bemutassuk és megőrizzük az utókor számára – a kor kívánalmainak megfelelően immár nem csak nyomtatásban, hanem digitálisan is.

A korábbi, Marczell Ferenc által szerkesztett életrajzi lexikon (2000) megjelenése óta közel két évtized telt el. Azóta a Társaság által kitüntetettek száma örvendetesen emelkedett, s ez már eleve bővítette a korábbi kötetben szereplők körét. Ugyanakkor számtalan esetben előfordult, hogy – szomorú, de igaz – a nekrológokhoz, megemlékezésekhez azok írói gyakran fordultak a lexikonban megjelent adatokhoz. Hiszen ki nem élte meg, hogy olyan kollégák, akik éveken, vagy évtizeden át egy szobában ültek, a másíkról nem mindig tudják, mikor, milyen beosztásban, milyen nagyobb munkákban vett részt, hiszen maguk sem tudják egészen pontosan, csak a régi papírok átnézése után, szerkesztése folyamán. Gyakorta a már lezárt életpályákat is újra górcső alá vettük, kiegészítettük a korábbi kötetekben szereplő adatokat, hogy minél teljesebb legyen a lexikoni szócikk. Míg Marczell Ferencnek a '90-es évek végén – az akkor még létező Vízügyi Szakkönyvtárban – fizikai értelemben is át kellett böngésznie a Társaság folyóiratait, addig a mi feladatunknak ez a része sokkal könnyebben ment, mert az MHT szaklapok ma már minden nehézség nélkül elérhetőek az interneten, s a keresőrendszerbe elég csak beütni a megfelelő nevet – s előjönnek a találatok. Vagy nem jönnek elő!

A külföldi szakembereknél különösen, de a hazaiaknál is előfordult, hogy nem találtunk róluk semmi érdemleget. E tekintetben különösen az 1960–70-es évek kitüntetettjei életrajzában volt nehéz utólag utánajárni. Mindezek mellett nagy segítséget jelentett a Balázs György professzor által szerkesztett négy kötetes „építőmérnök lexikon”, amely az 1943–1966 között oklevelet szerzett építőmérnökök életrajzeit tartalmazza. Persze nem mindenkiét. Csak azokat, akiktől nekik is sikerült beszerezniük az adatokat. De ez azért az ott érintett mérnököknek közel 70%-át érintette, aminek begyűjtése és közreadása mindenképpen nagy teljesítmény volt Balázs György és társai részéről!

A munka előkészítése során kérdőíveket küldtünk mindazoknak, akik az interneten elérhetőek voltak. A kérdőíven szereplő rubrikák egységesek voltak, de a kitöltésük után rendelkezésre álló szövegek nagyon nagy mértékben „szórtak” – a néhány mondatostól a több oldalasig! Így

aztán bizonyos szócikkeknel előfordul, hogy egyes életpályák összefoglalása sokkal szegényebbnek tűnik a valóságosnál. A terjedelmi korlátok nagyon megkötötték a szerkesztő kezét! Ezért a szerkesztő az érintettek elnézését kéri! Persze nem minden kiküldött kérdőívre érkezett a megadott határidőn belüli vagy egyáltalán valamilyen válasz. Szerencsére a több mint nyolcszázas létszámból ezek a kollégák a töredéket képviselték. Tekintettel arra, hogy a szócikkek a beküldött adatokra épültek, előfordulhat, hogy az évszámok, helyszínek, munkák tekintetében hibák csúsztak be a szövegbe. Ezért a következő lexikon majdani szerkesztőjének munkáját sokban megkönnyíti, ha az érintettek az MHT Titkárságára beküldik a javításokat, kiegészítéseket. Annál is inkább, mert Társaságunk tervezi az adatállomány megjelenítését az MHT honlapján, s ott a korrekciókra lehetőség nyílik!

Aztán – elenyésző számban – olyanok is akadtak, akik nem kívántak bekerülni életrajzukkal a lexikonba, őket szintén csak a felsorolásszerű részben tüntettük fel.

A kötetet szerkesztő lényegében centenárium évében, 2017-ben zárta le az adatgyűjtést, de esetenként frissebb történéseket is rögzített, hogy ezzel is naprakészebb legyen adatállománya. De ez csak esetlegesen és nem mindenre kiterjedően történt! Mindent egybevetve, jelen lexikon tartalmazza az előző két kötet (1992, 2000) valamennyi érdemi adatát, akár korrigált formában is, ezért jelenleg ez a kiadvány a legteljesebb, amely élő és már elhunyt hazai tagtársaink életrajzi tényeit tartalmazza.

A korábbiaktól eltérően mostani kötetünk már fényképekkel jelenik meg, ahol a képek egyfelől az érintettektől

származnak, egy részüket a Magyar Vízügyi és Környezetvédelmi Múzeum (Duna Múzeum) szíveségéből adjuk közre, néhányat a szerkesztő készített az évek során, sokakat – elsősorban a külföldieket – pedig az internetről sikerült begyűjteni. De nem mindenkiről rendelkezünk arcképpel, ennek teljessé tételére továbbiakban is kérjük az érintettek, ill. hozzátartozóik, barátaik, ismerőseik segítségét!

Itt, e helyen kell újfent megemlékezni az előző kötet szerkesztőjéről és sok esetben írójáról, Marczell Ferencről, az MHT Vízügyi Történeti Bizottságának egykori elnökéről, aki már szintén a túlvilágról szemléli lexikoníró utódainak gyönyörűsége kínlásait! A mostani kötet szerkesztésében és tartalmában az általa kitaposott úton készült, s vált többnyire teljessé.

Köszönet illeti az adatok összegyűjtésében Társaságunk Titkárságának Hamar Barbara által vezetett munkatársait; továbbá Buzás Zsuzsát és dr. Domokos Miklóst, akik a külföldi tiszteleti tagok adatainak begyűjtésében segítettek, valamint a következő kollégákat, akik az egyszerű feladatokon túl további adatszolgáltatással segítségére voltak a szerkesztőnek: dr. Borsányi Máttyás, Forstner Simon, Horváth István, Jaksa Bianka, Kiss József Mihály, dr. Koch Ildikó, Nádor István, Radács Attila, Szalkai Tímea, Szamos Ferenc, Tóth Emese, Víz Zsigmond. Végezetül, de nem utolsósorban megköszönöm Társaságunk elnökének, dr. Szlávik Lajosnak, a kötet lektorálását, adatokkal való kiegészítését!

*Dr. Szlávik Lajos
az MHT elnöke*

*Fejér László
szerkesztő*

Vízrajzi Évkönyv 2015

Szalai József ismerteti a közelmúltban megjelent Vízrajzi Évkönyv CXX. kötetét, amely a 2015-ben üzemelt vízrajzi mérési és észlelési hálózat, valamint Magyarország hidrológiai és hidrometeorológiai viszonyait jellemző legfontosabb adatokat tartalmazza.

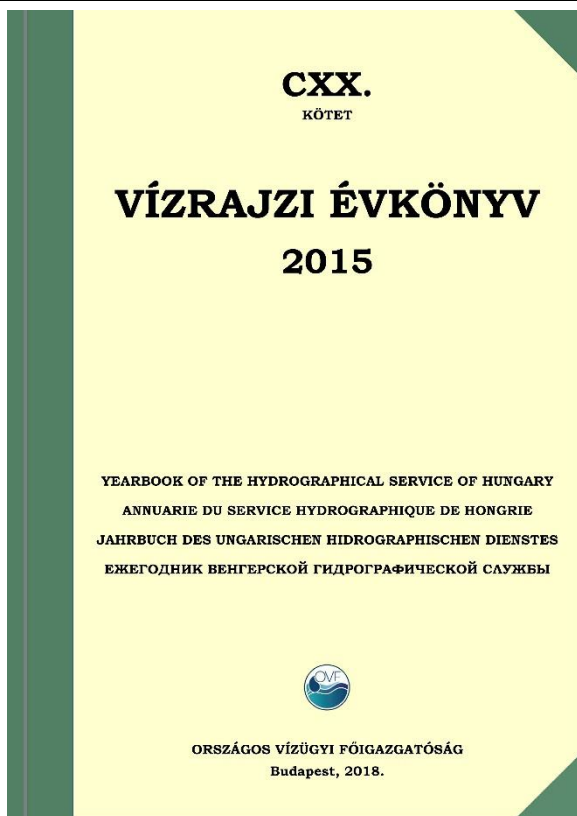
Magyarország egyik leghosszabb múlttal rendelkező, évente rendszeresen megjelenő szakmai kiadványa az ország legfontosabb tárgyévi hidrometeorológiai és hidrológiai adatait közreadó Vízrajzi Évkönyv.

Rendkívüli időjárási és vízrajzi eseményekről, szélsőségekről, hidegekről, hőségekről, aszályokról és árvizekről évszázadokra visszamenőleg ismertek adatok és feljegyzések, azonban ezek feldolgozása és értelmezése esetenként hosszabb levéltári kutatómunkát igényelhet. Számos esetben csak e feljegyzések egykori létezésének ténye ismert, maguk a dokumentumok nem elérhetőek, mert hozzáférhetetlenek, elkallódtak vagy elpusztultak.

Egyes térségekből hosszabb-rövidebb időszakot lefedő, szigetszerű mérési adatok (pl. hőmérséklet) is ismertek, azonban rendszerezett formában csak a XIX. század első felétől állnak rendelkezésre adatállományok. A század második felétől pedig már központi szakmai irányítás mellett, szervezeten történt a vízrajzi adatok gyűjtése és közreadása.

Az ármentesítő és lecsapoló munkálatok következtében megváltozott vízrajzi környezetben, a XIX. század második felében levonuló, pusztító árvizek után felerősödő szakmai és társadalmi elvárások hosszas parlamenti csatározásokhoz vezettek, majd végül a Köz- és Közlekedésügyi Minisztérium szervezeti keretében felállított Vízrajzi Osztály megszervezését (1886. május 1.) eredményezték, ami megteremtette a vízrajzi évkönyvek elődjének tekinthető adatgyűjtemények – Vízállások – szerkesztésének és közzétételének lehetőségét is.

A vízrajzi adatokat, illetve azok egy részét az 1888 óta évente rendszeresen megjelenő kötetek – előbb a „Vízállások” kiadvány-sorozat, majd 1930-tól a „Vízrajzi Évkönyv” – tartalmazták, tartalmazzák. Az elmúlt 130 esztendő alatt a Vízrajzi Évkönyvek szerkezete, tartalmi felépítése a vízrajzi adatok köre bővülésének megfelelően módosult.



A vízmércék számának növekedése, újabb csapadékmérő állomások telepítése, további vízfajták (talajvíz, források, réteg- és karsztvizek), majd a felszíni és a felszín alatti vizek minősége mérőhálózatának létrehozása az évkönyvek új fejezetekkel történő kiegészítését tette szükségessé.

Az adatgyűjtő hálózatok állomásszámának növekedése következtében felmerült azok területi elhelyezkedése térképi bemutatásának igénye is. Kezdetben egy-egy vízfajta mérőhálózatának állomásait, később a vízrajzi szolgálat mindegyik törzsállomását feltüntető színes térképlap, térképlapok kerültek az évkönyvekbe. A kötetek jelentős részében a tárgyév hidrológiai és csapadékvizszoynainak jellemzése mellett tanulmányokat is közöltek.

Előfordult, hogy a soron lévő kötet szerkesztéséhez és kiadásához szükséges erőforrások szűkössége vagy teljes hiánya összevont kötetek megjelenését eredményezte.

Az 1996. évi adatokat tartalmazó CI. kötetrel kezdődően a vízrajzi évkönyvek szerkezete jelentősen átalakult: a kötet tartalmának jelentős része csak digitális formában a CD-, a 2006. évi CXI. kötet esetében pedig a DVD-mellékleten jelent meg. Az évkönyv nyomtatott változata az év hidrológiai és hidrometeorológiai jellemzőinek áttekintő elemzése mellett az állomások törzsadatait, a havi és évi közép-, illetve szélsőértékeket foglalta össze. A vízrajzi törzshálózat állomásai napi adatainak táblázatai az évkönyvhöz mellékelt adathordozón kaptak helyet éppúgy,

mint a felszíni és felszín alatti vízminőségi és vízhasználati, valamint a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) [korábban: Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI)] által üzemeltetett kúthálózat adatai. Az optikai adathordozón az évkönyv nyomtatott változatában elhelyezett áttekintő térképeken is feltüntetett állomások helyét az országos EOTR szelvénybeosztás szerint 1:200 000 méretarányú részlet-térképeken mutatták be.

A Vízrajzi Évkönyv 2015. évi nyomtatott kötete hat részből áll. Az 1. rész a felhasználói útmutató, ami az évkönyvben alkalmazott jelöléseket, a további részek tartalmát, valamint a digitális adathordozó használatát ismerteti. A 2. részben összefoglaló tanulmány olvasható a 2015. év hidrometeorológiai és hidrológiai jellemzőiről. A 3. rész az adatgyűjtő hálózatok jegyzékét és törzsadatait tartalmazza. A 4. rész a vízmércék reggeli vízállásait, az 5. rész pedig az év hidrológiai adatainak havi és évi jellemzőit összegzi. A 6. rész az adatgyűjtő hálózatok áttekintő térképeinek gyűjteménye.

Az évkönyv digitális változatát már nem optikai adathordozó, hanem kártya-pendrive (KPD) tartalmazza. A KPD kezelőfelületén a tematikus képikonokra kattintva érhetőek el az adattáblák. A KPD-n kapott helyet a nyomtatott kötet digitális változata, a vízrajzi hómérő állomások adattáblái, a felszíni vizek reggeli vízállásának és napi középvízhozamának, a talaj-, a karszt- és a rétegvízszintek, továbbá a forrás-hozamok, valamint az MBFSZ által üzemeltetett talaj-, karszt- és rétegvízszint-mérő hálózat vízszint-adatai.

A mennyiségi jellemzők mellett az évkönyv tartalmazza az EU VKI szerinti állomásokon a felszín alatti vizek 2015. évi vízminőségi adatait és a felszíni vízminőségi monitoring állomásjegyzékét, továbbá mind a felszíni, mind pedig a felszín alatti vízkészletből különböző vízigények kielégítésére (vízhasználatok) elvont vízmennyiségek összegezett értékeit is.

A KPD-n kaptak helyet az egységes országos térkép-rendszer (EOTR) szelvényezésének megfelelő részlet-térképek is. Ezek az 1:200 000 méretarányú térképlapok a vízrajzi hálózat állomásainak (vízrajzi meteorológiai, vízmércék, talaj-, karszt- és rétegvízszint-mérő kutak, források, a felszíni és a felszín alatti vízminőségi monitoring), a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat kútjainak és az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) csapadékmérő állomásainak területi eloszlását szemléltetik.

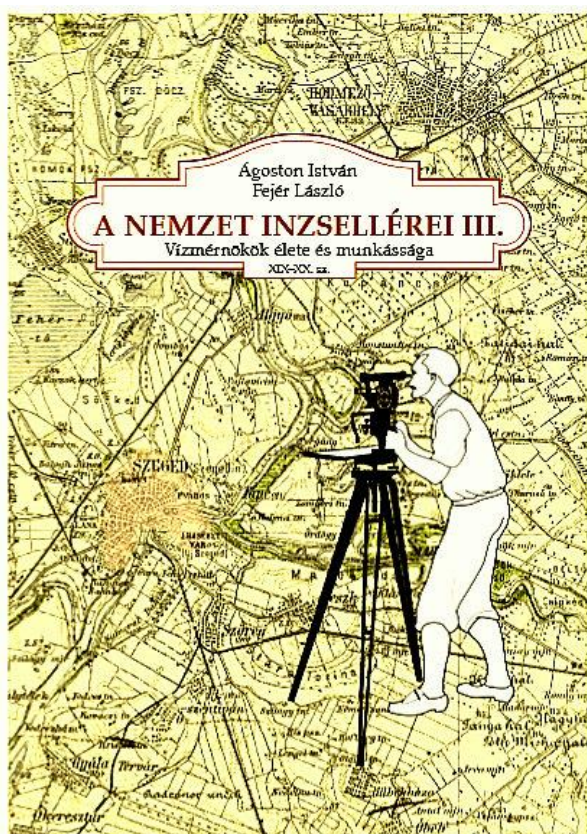
A Vízrajzi Évkönyv CXX. kötete az Országos Vízügyi Igazgatóság (OVF) által üzemeltetett Központi Vízrajzi Adattárban tekinthető meg és az OVF Adattári Osztályán lehet megvásárolni. Az évkönyv ára elektronikus formában: 3000.- Ft, nyomtatott kötet 25 000.- Ft.

*Szalai József
az MHT Vizgazdálkodási szakosztály titkára*

A nemzet inzellérei III.

Ágoston István – Fejér László: A nemzet inzellérei III. Vízmérnökök élete és munkássága. XIX-XX. század. Szeged, 2018, 135 oldal. A könyvet ismerteti dr. Szlávik Lajos, az MHT elnöke.

Nem új keletű az a gondolat, hogy jeles mérnökeink rövid életrajzi vázlatát közreadva közelebb hozzuk a nagyközönség számára személyüket, országépítő tevékenységüket. Már a XIX. század vége felé Sárközy Imre a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Heti Értesítőjének hasábjain *Régibb vízi mérnökeink életéből vett vázlatok* címmel indított egy sorozatot, amelyben 18 magyar mérnök életrajzi adatait, történeteit sorolta el Böhm Ferentől Beszédes Józsefen át egészen Mihálik Jánosig, a nemzetközi tekintetben is úttörő első hazai betonzsilip építőjéig. Sokuknak kortársa volt, így személyes emlékeit is közre tudta adni, közeli hozzátartozóiktól fényképüket is megszerezte, s ezzel megőrizte alakjukat az utókor számára.



A XXI. század elején, dr. Kovács Gábor egykori szegedi vízügyi igazgató ösztökélésére Ágoston István látott hozzá a *Nemzet inzellérei* sorozat első két kötetének összeállításához. Ismert és kevésbé ismert nevek szerepeltek ezekben a munkákban, zömmel a XIX. század jelesei.

Amikor az első két könyv napvilágot látott 2001-ben, majd 2002-ben, akkor azt hittük, hogy sorban jönnek ki az újabb és újabb kötetek, hiszen felfedezésre, megörökítésre méltó mérnöki-vízmérnöki életművek és nagy történelmi katalizmák árnyékában is folyamatosan születnek. Sajnos nem így történt, a harmadik könyv csak 2018-ban jelent meg. A benne szereplők kiválogatása azon szempont

alapján is történt, hogy az illetőkről eddig még nem jelent meg pályafutásukat bemutató könyv vagy vaskosabb füzet. Tehát cél volt, hogy a köztudatba minél több mérnök kerüljön be!

Persze akadtak e mérnökök között is olyanok, mint pl. Petzval József vagy testvére Petzval Ottó, akiknek személye egyáltalán nem ismeretlen a hazai, s nemzetközi technikatörténeti közvélemény előtt. Ám többségük munkássága eddig inkább a szűk szakmai közönség számára jelentett valamit. Mindezek után nem árt felsorolni, kikről is van szó! Az előzőekben említettek túl Gáty István, Farkass Kálmán, Rohringer Sándor, Ziegler Károly, Ihrig Dénes, Balló Béla, Lászlóffy Woldemár, Nóvé Lajos, Bartsch Lajos, Mistéth Endre, Orlóci István és Vágás István rövid életrajzi vázlatait tartalmazza a könyv. A névsor imponáló és egyben szomorú is, hiszen pl. Vágás Istvántól a szakma nem sokkal a könyv megjelenése előtt búcsúzott el, hiánya még most is keserűséget okoz mindazoknak, akik közelről ismerték színes egyéniségét.

A felsoroltak a vízgazdálkodás/hidrológia csaknem valamennyi szakterületének jelesei: Gáty István (1780-1859) a reformkor „inzsellére”, aki sokirányú tevékenysége mellett talán a földmérés, műszerszerkesztés és a vízszabályozás szakértője volt; Petzval József (1807-1891) a pesti egyetemen a vízépítész, majd a bécsi egyetemen az optika elméletének és a fényképezés gyakorlatának volt híres képviselője; Petzval Ottó professzor (1809-1883) a pesti műegyetemen a „vízerő- és vízépítészettan” tudományának oktatása mellett behatóan foglalkozott a matematika, az elemi csillagászat kérdéseivel is; Farkass Kálmán (1859-1953), a közegészségügyi mérnöki szolgálat egykori vezetőjeként a víziközmű kérdések szakértője volt; Rohringer Sándor professzor (1868-1945) nem csupán a műegyetem rektora volt, hanem a kultúrmérnöki munkák szaktekintélye, a műegyetemi vízépítési laboratórium megteremtője is; id. Ziegler Károly (1898-1985) a társulati vízmunkák és az országos árvízvédelem kimagasló alakja volt, akiről a ma már nyugdíjas mérnököknek akár személyes emlékük is lehet; Ihrig Dénes (1899-1991) a VITUKI első igazgatójaként az árvízi védekezések és a hidrológiai észlelések szakértője volt, hosszú időn át a Vízügyi Közlemények főszerkesztője; Balló Béla (1900-1972) a szegedi vízügyi igazgatóság főmérnökeként a térségi vízgazdálkodás kimagasló alakja volt; Lászlóffy Woldemár (1903-1984) szakmai érdeklődését tekintve a korszerű hidrológia valamennyi területén otthonosan mozgott, iskola-teremtő egyénisége sok mai hidrológusra hatással volt; Nóvé Lajos (1905-1985) ugyancsak az Alsó-Tisza vidéke vízgazdálkodásának volt elhivatott alakítója; Bartsch Lajos (1910-1990) az öntözések, belvízrendezések nagy tekintélyű mérnöke volt; Mistéth Endre (1912-2006) a legendás tervezőmérnök, aki balszerencséjére a politika világába is belekóstolt, de akinek tudományos teljesítménye

mindvégig a szakma elismerését váltotta ki; Orlóci István (1929-2012) a hazai távlati vízgazdálkodási tervezés kimagasló alakja, sokunk személyes ismerőse és tanítómestere; Vágás István (1930-2018), nevét már említettük az előzőekben, de tudnunk kell róla, hogy a „hidrológia szegedi iskolájának” volt vezéralakja, a Hidrológiai Közlöny negyedszázadon át szorgos szerkesztője, a Magyar Hidrológiai Társaság tudományos „mindenese”.

Az egyes feldolgozásokat Ágoston István és Fejér László külön-külön készítették, de van közösen megírt életrajzi vázlat is. Ahogy belelapozunk a pályaképekbe, a jegyzetektől kiderül, számos esetben a szerzők felhasználták a Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltárban őrzött életút-interjúk anyagát. Felbecsülhetetlen kincseshány az, ami jelzi az ilyen irányú munka folytatásának szükségességét. Mert az idő könyörtelenül telik, s az egyes mérnökök pályafutásának szakmai és emberi tapasztalatai mindannyiunk tudását gazdagítja. Ha nem rögzítjük ezeket, akkor azok elszállnak a semmibe!

Az életutak feldolgozását nagyban elősegítette az a tény, hogy a vízügyi szakmai lapok, elsősorban a Hidrológiai Közlöny, a Hidrológiai Tájékoztató és a Vízügyi Közlemények ma már szabadon kutathatóak az interneten, de ugyancsak megtalálható az Arcanum Kft. előfizetéses oldalán a Magyar Mérnök- és Építész Egylet valamennyi évfolyama, nem is beszélve más műszaki és gazdasági folyóiratokról.

Hogy lesz-e folytatása ennek a gazdag illusztrációs anyagot is tartalmazó könyvsorozatnak? Csak remélni tudjuk, hiszen ahogy a kötet előszavában Láng István vízügyi főigazgató is megjegyezte: „*A műszaki kultúra kiválóságai aránytalanul kisebb mértékben képviseltek a nemzet nagyjai között, mint a művészek, politikusok, társadalomtudósok stb. Tudjuk persze, hogy a műszakiak, a mérnökök nemigen szeretnek írni, vagy ha mégis tollat ragadnak a kezükbe, a végeredményt csak kevesek értik meg. Igazi népszerűsége így nem lehet szert tenni. Nekünk, a műszaki múlt ápolóinak kell tehát egykori nagyjaink emlékét megőrizni, s adott alkalmakkor felidézni. ... Igazi példaképeket olyannyira nélkülöző korunkban érdemes belemerülni az életrajzokba, még akkor is, ha egy másik, mondjuk úgy – letűnt kor embereiről van szó. Hiszen nem cselekedeteiket kell lemásolni, hanem azt a gondolkodást, a közösségért való munkálkodás örömét kell megérezniük, amelyeket a könyvben szereplő mérnökök sugároznak időben tőlünk egyre távolodva...*”

A könyvet az Alsó-Tisza vidéki Vízügyi Igazgatóság adta ki az Országos Vízügyi Főigazgatóság támogatásával. A szöveg lektorálást – az időközben elhunyt dr. Kovács Gábor mai utódja – dr. Kozák Péter igazgató végezte el.

Dr. Szlávik Lajos
a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke